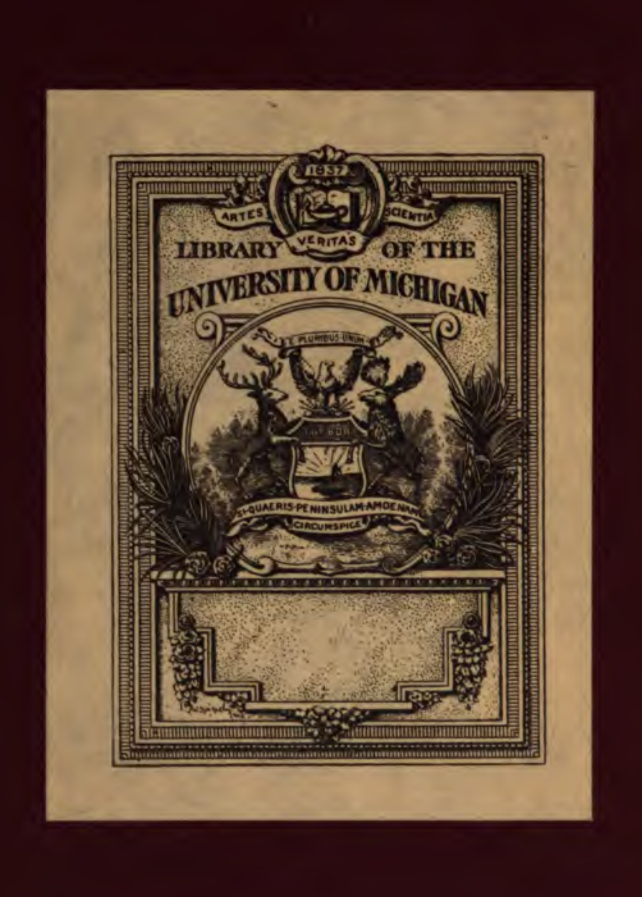
DIE LEGIERUNGEN

VON A. LEDEBUR

VIERTE AUFLAGE

VON O. BAUER


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE





Die Legierungen

in ihrer Anwendung

für gewerbliche Zwecke

Ein Hand- und Hülfsbüchlein für sämtliche Metallgewerbe

von

A. Ledebur

Geh. Bergrat und Professor an der Königl. Bergakademie zu Freiberg in Sachsen

Vierte neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 45 Abbildungen im Text

Bearbeitet und herausgegeben

von

Prof. Dipl.-Ing. O. Bauer

Privatdozent an der Kgl. Techn. Hochschule zu Berlin-Charlottenburg und ständiger Mitarbeiter am Kgl. Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde



BERLIN W.

Verlag von M. Krayn

1913

Vorrede zur dritten Auflage.

„Bei der Bearbeitung einer dritten Auflage der *Legierungen* erschien es notwendig, auch den schönen Erfolgen, welche inzwischen die *Metallographie* bei der Erforschung des Wesens der Legierungen und ihrer Eigenschaften erlangt hatte, soweit Rechnung zu tragen, als den Zielen dieses Büchleins entspricht. Unter der Überschrift: *Erstarrungsvorgänge, Seigerung* (Abschnitt 4) wurden deshalb zunächst die Vorgänge bei der Entstehung des Gefüges vom allgemeineren Standpunkte aus erörtert, wobei auch die Einfügung einzelner Abbildungen sich als notwendig erwies, um dann bei der Besprechung einzelner Legierungen das früher Gesagte weiter auszubauen. Stets behielt ich hierbei das mir schon früher gesteckte Ziel im Auge, die Bearbeitungsweise so zu gestalten, daß das Büchlein nicht allein den auf Hochschulen Gebildeten verständlich sei. Durch verschiedene Literaturnachweise habe ich mich bemüht, dem Leser Anregung zum Aufsuchen eingehenderer Belehrung, als sich im Rahmen dieses Büchleins bieten läßt, zu geben."

Vorstehende Vorrede ist das letzte, was der Verfasser geschrieben hat, ehe ihm der Tod die Feder aus der Hand nahm.

Freiberg in Sachsen, August 1906.

Vorrede zur vierten Auflage.

Von den Rechtsnachfolgern meines unvergeßlichen Lehrers A. Ledebur und dem Verlag aufgefordert, die vierte Auflage der „Legierungen“ zu bearbeiten, habe ich mich nur mit einem gewissen Gefühl des Bangens dazu entschließen können, dieser Aufforderung zu folgen.

Sollte es mir gelungen sein, die Aufgabe im Sinne meines, leider zu früh dahingeschiedenen Lehrers zu lösen, so wäre mir das die größte Genugtuung. Etwaigen Wünschen und Anregungen aus der Praxis für eine vielleicht später notwendig werdende Neuauflage werde ich stets gern Gehör schenken.

Berlin-Lichterfelde, Januar 1913.

O. Bauer.

Inhalts-Verzeichnis.

I. Allgemeines.

1. Begriff des Wortes Legierung.

Die Bezeichnung Legierung entstammt, wie mancher andere in den metallurgischen Gewerben übliche Ausdruck, dem Italienischen und ist von dem das gleiche bedeutenden Worte l e g a (eigentlich Bündnis, Vereinigung, französisch a l l i a g e) abgeleitet.

Ihrem Wesen nach sind die Legierungen im geschmolzenen Zustande Lösungen zweier oder mehrerer Metalle in einander. Auch Lösungen von Metalloiden in Metallen gehören den Legierungen an, sofern sie die metallische Eigenart — Metallglanz, Undurchsichtigkeit, Leitungsvermögen für Wärme und Elektrizität — gewahrt haben. Läßt sich doch die Grenze zwischen Metallen und Nichtmetallen — Metalloiden — nicht einmal immer mit voller Schärfe ziehen; manche Körper, welche man früher allgemein den Metallen beizählte und jetzt noch im gewerblichen Leben als Metalle benennt, sind von den Chemikern in Rücksicht auf ihre chemischen Eigenschaften unter die Nichtmetalle versetzt worden. Hierher gehören Antimon, Wismut; sogar das Zinn hat man vom chemischen Standpunkte aus bisweilen aus der Reihe der Metalle ausgeschieden.[1]) Der Begriff des Wortes Legierung ist demnach ziemlich um-

---

[1]) Graham-Otto, anorganische Chemie, 5. Auflage, bearbeitet von Michaelis, Abteilung 2, Seite 1250.

fassend. Blei und Zinn vereinigen sich mit Antimon zu vielfach benutzten Legierungen; arsenhaltiges Blei, wie es zur Darstellung von Flintenschrot benutzt wird, ist nichts anderes als eine Legierung des Metalles Blei mit dem Nichtmetalle Arsen; auch kohlenstoff- oder siliciumhaltiges Eisen kann seinem ganzen Verhalten nach nur als eine Legierung des Eisens mit Kohlenstoff oder Silicium angesehen werden.

Von chemischen Verbindungen im engeren Sinne unterscheiden sich die Legierungen von vornherein dadurch, daß die gegenseitigen Gewichtsverhältnisse der in ihnen anwesenden Körper unabhängig von den chemischen Atomgewichten sind. Es ist indes nicht zu bezweifeln, daß ebenso wie bei anderen Lösungen, unter gewissen Einflüssen wirkliche chemische Verbindungen einzelner Bestandteile der Legierungen entstehen und unter geänderten Verhältnissen wieder zerfallen können, ohne daß jedoch die Anwesenheit oder Nichtanwesenheit solcher engeren Verbindungen das Wesen der Legierung bedingt. Wenn z. B. Kupfer Sauerstoff aufnimmt, so entsteht eine chemische Verbindung beider Körper, das Kupferoxydul Cu_2O, welches im Überschusse des geschmolzenen Kupfers löslich ist, und diese Lösung ist demnach als eine Legierung des Kupfers mit Kupferoxydul zu betrachten; nimmt Eisen Schwefel auf, so entsteht Einfach-Schwefeleisen FeS und löst sich im Überschusse des Eisens. Solche Fälle sind häufig.

Neuere Untersuchungen haben sogar gezeigt, daß bezüglich des Auftretens von chemischen Verbindungen gewisse, aus der Stellung der Elemente im periodischen System, abzuleitende Gesetzmäßigkeiten bestehen. Nach Tammann ergibt sich in bezug auf die Verbindungsfähig-

keit, daß diejenigen Elemente, die im periodischen System zu einer natürlichen Gruppe im engeren Sinne gehören, untereinander keine Verbindungen bilden, und daß ferner irgend ein beliebiges Element entweder mit allen Elementen einer natürlichen Gruppe oder mit keinem der Gruppenglieder Verbindungen eingeht.

Von mechanischen Mischungen unterscheiden sich die Legierungen, wie alle übrigen Lösungen dadurch, daß eine vollständige Trennung ihrer Bestandteile nur noch auf chemischem Wege (z. B. durch Verbrennung einzelner Körper, wie bei der Gewinnung des Silbers durch Abtreiben aus silberhaltigem Blei, der Umwandlung des Roheisen's in schmiedbares Eisen durch Frischen usw.) zu erreichen ist; sowie ferner dadurch, daß ihre Eigenschaften keineswegs von denen ihrer Bestandteile unmittelbar abhängig zu sein brauchen, sondern selbständig als die Eigenschaften eines neuen Körpers erscheinen können. Eine Legierung kann eine tiefere Schmelztemperatur, ein größeres spezifisches Gewicht, eine größere Härte und Festigkeit besitzen, als jeder einzelne ihrer Betandteile, was bei einer einfachen, mechanischen Mischung nicht möglich sein würde.

2. Entstehungsvorgänge.

Die Legierungen entstehen fast immer im flüssigen Zustande in einer Temperatur, welche mehr oder minder hoch über der gewöhnlichen Temperatur liegt; in letzterer sind sie fest, wie fast alle Metalle, und gerade hierdurch befähigt, als Stoff für zahlreiche Verwendungen bei Herstellung von Gebrauchsgegenständen zu dienen. Eine Ausnahme machen manche Legierungen des Quecksilbers, des einzigen in gewöhnlicher Temperatur flüssigen Metalls. welche ebenfalls erst in Temperaturen unter Null Grad

erstarren, eine Verwendung für Herstellung von Gebrauchsgegenständen jedoch nicht gefunden haben.

Bei der Bildung der Legierungen können entweder sämtliche Bestandteile flüssig sein; oder nur einzelne sind flüssig, und die anderen im festen Zustande befindlichen werden von ihnen gelöst. Wie sich festes Kochsalz mit Leichtigkeit in Wasser von gewöhnlicher Temperatur löst, obgleich diese mehrere hundert Grade tiefer als die Schmelztemperatur des Kochsalzes liegt, vermag sich Kupfer im geschmolzenen Zinn zu lösen, ohne daß dieses bis zur Schmelztemperatur des Kupfers erhitzt wird, ebenso Silber im Blei, Kohlenstoff im Eisen; und gleiche Fälle sind zahlreich. Rascher aber geht die Vereinigung vor sich, wenn beide Körper sich schon im flüssigen Zustand befinden.

Ausnahmen von der Regel, nach welcher die Legierungen im flüssigen Zustande erfolgen, finden indes statt. Setzt man z. B. Kupfer der Einwirkung von Zinkdämpfen aus, so legieren sich beide, ohne daß Schmelzung stattzufinden braucht. Selbst zwei feste Körper vermögen sich bei inniger Berührung in höherer Temperatur mitunter zu legieren, ohne zu schmelzen, und zwar nicht nur an der Oberfläche, sondern infolge einer Durchdringung, einer Molekularwanderung (Diffusion), bei welcher der von außen her eintretende Körper von Molekül zu Molekül abgegeben wird, auch auf größere Abstände von der Oberfläche, wenn nur die Zeitdauer der Einwirkung ausreichend lange ist. Der bekannteste Vorgang dieser Art ist die Aufnahme von Kohlenstoff durch kohlenstoffarmes Eisen beim Glühen in Holzkohle oder anderen kohlenstoffhaltigen Körpern (Zementstahldarstellung); ein anderer derartiger Fall ist die Aufnahme von Eisen durch Nickel,

wenn beide Metalle in Berührung mit einander geglüht werden.[1]) Mischt man die Körper in Form eines feinen Pulvers zusammen und setzt sie unter gleichzeitiger schwacher Erwärmung einem hohen Druck aus, so tritt gleichfalls häufig Legierung (Diffusion der einzelnen Stoffe in einander) ein. Der Druck allein genügt jedoch, nach den Versuchen von Spring, Masing u. a. hierzu nicht, er erleichtert aber den Diffusionsvorgang durch die durch ihn bedingte innige Berührung der einzelnen Stoffe.

Um gleichmäßigere Legierung zu erzielen, wird man trotzdem im allgemeinen den Umweg über den geschmolzenen Zustand vorziehen, da er rascher und in den meisten Fällen wohl auch billiger zum Ziele führt.

In einzelnen Fällen jedoch, in denen sich die Metalle im flüssigen Zustand nicht mischen (vergl. Kapitel 3 Legierungsfähigkeit der Metalle), wird man auch von dem von Guertler[2]) vorgeschlagenen Verfahren der Herstellung sogenannter „Stampflegierungen" Gebrauch machen können.

Als Beispiel können z. B. die Metalle Blei und Eisen dienen. Versucht man Blei und Eisen zusammenzuschmelzen, so erhält man zwei Schichten. Die untere Schicht enthält nahezu eisenfreies Blei und die obere Schicht nahezu bleifreies Eisen. Auch bei der Erstarrung ändert sich in der beschriebenen schichtenweisen Anordnung nichts. Es ist also unmöglich, aus dem Schmelzfluß eine innige Mischung von Blei und Eisen zu erhalten. Das Guertlersche Verfahren besteht nun darin, daß zunächst ein gepulvertes mechanisches Gemisch von Blei und Eisen

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 9 (Fleitmann).

[2]) Dr. W. Guertler „Metallographie", Seite 178, Verlag von Gebrüder Bornträger, Berlin 1910.

erzeugt wird. Diese Mischung wird am besten auf 200 bis 300° Celsius erhitzt, um die Plastizität des Bleies zu erhöhen und dann in Formen eingestampft, welchen man je nach dem zu erhaltenden Stück beliebige Gestalt geben kann.

Als Produkt erhält man ein inniges, festes Gemenge der beiden Stoffe, das sich bezüglich seiner Eigenschaften ganz wie eine wirkliche Legierung von Blei und Eisen verhält. Nach Guertler sollen solche Eisen-Blei-Stampflegierungen z. B. als Lagermetalle praktische Anwendungsmöglichkeiten haben. Als weiche Grundmasse dieser Stampflegierungen kann man natürlich auch andere Metalle wählen, wie z. B. Zinn, Kupfer usw., mit oder ohne Zusatz von Blei.

Wohl noch vielseitiger in seiner Anwendungsmöglichkeit ist ein ähnliches von Friedrich[1]) vorgeschlagenes Verfahren, das eine Verbindung von Legierung und mechanischem Gemenge zwischen Stoffen, die sich im Schmelzfluß nicht vereinigen lassen, darstellt. Friedrich geht nicht vom festen, sondern vom halbflüssigen Zustand aus. Er erzeugte legierungsähnliche Körper, indem er Metalle oder andere Substanzen, wie Oxyde, Silikate, Glas, Gesteine usw. in Legierungen einrührte, welche sich im teigigen Zustande befanden. Er erhielt auf diese Weise kompakte, einheitliche Gebilde von gleichmäßiger Durchmischung, welche auf anderem Wege nicht erzielt werden konnten. Praktische Anwendbarkeit dürften diese neuen, legierungsähnlichen Stoffe wohl noch kaum gefunden haben, immerhin ist ihre Verwertbarkeit z. B. im Kunstgewerbe nicht von der Hand zu weisen.

---

[1]) Friedrich: „Eine neue Perspektive im Legierungsgewerbe", Metallurgie 1910, 97.

Neben den alten Darstellungsmethoden gewinnt ferner noch die elektrolytische Fällung von Legierungen aus gewissen Mischungen wässeriger Lösungen der entsprechenden Metallsalze immer mehr an Bedeutung. So stellt man z. B. vielfach Messingniederschläge her. Es würde über den Rahmen des vorliegenden kleinen Buches hinausgehen, wollten wir hierauf näher eingehen. Obiger kurze Hinweis möge daher genügen.

3. Die Legierungs- (Lösungs)fähigkeit der Metalle im flüssigen Zustande.

Wie das Vermögen nichtmetallischer Körper, sich gegenseitig zu Lösungen zu vereinigen, verschieden ist, einzelne sich leicht und in allen Gewichtsverhältnissen in einander lösen (Wasser und Alkohol, Chlorcalcium und Wasser, Aether und Alkohol und viele andere), manche dagegen nur beschränkte Mengen eines zweiten Körpers aufnehmen (Wasser und Aether), noch andere sich fast gar nicht in einander lösen, sondern, wenn sie gemischt werden, sich nach ihren spezifischen Gewichten wieder von einander sondern (Wasser und Oel), so zeigt sich auch bei den Metallen ein abweichendes Legierungsvermögen. Einige legieren sich leicht und in allen Gewichtsverhältnissen, andere nur in beschränktem Maße, noch andere gar nicht. Im Uebrigen spielt auch die Temperatur hierbei eine Rolle; nicht selten wird die Löslichkeit der Metalle in einander durch Steigerung der Temperatur über die Schmelztemperatur hinaus erhöht, aber auch der umgekehrte Fall kommt vor.

a) Beispiele für Stoffe, die sich in allen Verhältnissen im flüsigen Zustand mischen (lösen).

Die bei Weitem größere Mehrzahl der Metalllegierungen zeigt vollständige Mischbarkeit im flüssigen Zustande.

Eisen mischt sich leicht und in allen Gewichtsverhältnissen mit Chrom, Mangan, Molybdän, Nickel, Silizium, Vanadium. Alle diese Legierungen finden praktische Anwendung bei der Eisen- und Stahlerzeugung, wobei jedoch als dritter Bestandteil in der Regel noch der Kohlenstoff hinzukommt.

Ebenso lassen sich Eisen und Aluminium, Gold, Kobalt, Platin u. a. in allen Verhältnissen im flüssigen Zustand mischen.

Kupfer legiert sich leicht mit Zink und Zinn, nach der Erstarrung die technisch wichtigen Bronzen und Messingsorten bildend.

Auch mit Antimon, Aluminium, Kadmium, Kobalt, Magnesium, Mangan, Nickel, Silber, Wismut und Palladium lassen sich leicht im flüssigen Zustand völlig homogene Lösungen oder Legierungen erschmelzen, desgleichen mit den Edelmetallen Gold und Platin.

Ueber die Legierungsfähigkeit des Kupfers mit Eisen bestehen noch Zweifel. Sicher ist, daß bis zu etwa 20 % Kupfer leicht vom flüssigen Eisen und andererseits wieder bis zu etwa 20 % Eisen von flüssigem Kupfer gelöst werden; ob bei den dazwischen liegenden Gehalten Schichtenbildung[1]) eintritt oder nicht, steht noch nicht fest.[2])

---

[1]) Ueber Schichtenbildung im flüssigen Zustand, siehe Abschnitt b.

[2]) Vergl. hierüber auch: Pfeiffer, Metallurgie 3, 281, 1908 und Sahmen, Z. f. anorg. Ch. 57, 9, 1908.

Silber und Gold gehen Lösungen ein mit Aluminium, Antimon, Blei, Kadmium, Magnesium, Palladium, Platin und Wismut. Bereits erwähnt wurde ihre Legierungsfähigkeit mit Zinn und Zink und die des Goldes mit Eisen. Außerdem legiert sich noch Gold mit Nickel und Kobalt, nicht aber das Silber.

Zinn und Zink lösen sich leicht ineinander. Mit Zinn lassen sich außer den bereits aufgeführten Metallen Gold, Kupfer und Silber noch folgende im flüssigen Zustande in allen Verhältnissen mischen: Aluminium, Antimon, Blei, Kadmium, Kobalt, Magnesium, Mangan und Wismut, während mit Zink außer den bereits genannten Metallen Gold, Kupfer und Silber nur folgende wenige Metalle in allen Verhältnissen mischbar sind: Aluminium, Antimon, Kadmium und Magnesium. Der Legierungsfähigkeit des Zinks mit anderen Körpern ist vielfach durch seinen niedrigen Siedepunkt (etwa 920° C.) eine Grenze gesetzt. Steigt die Schmelztemperatur der Legierung über den Siedepunkt des Zinks, so verdampft letzteres. So ist es z. B. bei Atmosphärendruck nur möglich, im Schmelzfluß Zink—Eisenlegierungen mit höchstens 25 % Eisen zu erschmelzen, hierbei ist jedoch die Verdampfung des Zinks bereits sehr beträchtlich. Unangenehm macht sie sich auch schon bei der Herstellung von Kupfer--Zinklegierungen bemerkbar, sobald der Schmelzofen heiß geht.
Durch Umschmelzen von Messing im Vakuum gelingt es, nach Versuchen von Turner[1]), das Zink (ebenso auch das Blei) vollständig auszutreiben, wie sich aus der folgenden Zusammenstellung ergibt:

---

[1]) Turner: „Ueber die partielle Verdampfung von Legierungen", Bericht der Frühjahrs-Versammlung des Instituts of Metals. London 1912.

Tabelle 1.

	Kupfer %	Zinn %	Eisen %	Zink %	Blei %
Vor dem Umschmelzen im Vakuum	72,53	5,52	2,0	11,65	7,11
Nach dem Umschmelzen im Vakuum	72,36	5,01	1,96	—	—

Blei legiert sich im flüssigen Zustande in allen Verhältnissen mit Antimon, Kadmium, Magnesium, Palladium, Platin und Wismut. Die Legierungsfähigkeit des Bleies mit Gold, Silber und Zinn ist bereits erwähnt.

Aluminium und Magnesium lösen sich im flüssigen Zustand ineinander. Ferner noch, außer mit den bereits erwähnten Metallen Gold, Kupfer, Silber, Zink und Zinn, mit Antimon und Nickel. Magnesium-Blei, Magnesium-Kadnium und Magnesium-Wismut-Legierungen lassen sich ebenfalls auf feuerflüssigem Wege in allen Verhältnissen herstellen.

b) Beispiele für Stoffe, die sich nicht in allen Verhältnissen im flüssigen Zustand mischen (lösen).

Bei einer recht großen Anzahl von Legierungen tritt bei bestimmten Prozentgehalten im flüssigen Zustande sogenannte Schichtenbildung ein. Die flüssige Legierung teilt sich in zwei Schichten; in eine dem spezifischen Gewicht nach leichtere obere und eine schwerere untere Schicht.

Der Gehalt der beiden Schichten an den einzelnen Stoffen steht in Abhängigkeit von der Temperatur der Schmelze. Je höher die Temperatur, um so mehr vermag *in der Regel jeder* der beiden Stoffe von dem anderen

Stoff zu lösen. Bezeichnet man mit A das spezifisch leichtere und mit B das spezifisch schwerere Metall, so veranschaulicht Abb. 1 schematisch die beschriebene Schichtenbildung. A(xB) bedeutet, daß die obere Schicht, die vorwiegend den Stoff A enthält, einen bestimmten, in Abhängigkeit von der Temperatur der Schmelze stehenden Anteil x an dem Stoff B in Lösung hält; das Gleiche gilt für die untere Schicht B (y A).

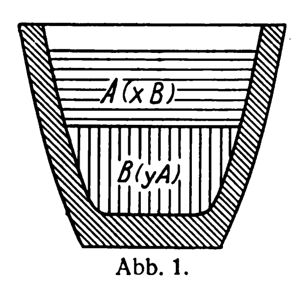


Abb. 1.

Kennzeichnende Beispiele für die beschriebene Schichtenbildung im flüssigen Zustand sind die Legierungspaare Zink—Blei und Zink—Wismut. In Abb. 2 ist obiges Verhalten schaubildlich dargestellt.

Bei 500° C. zerfällt z. B. ein flüssiges Gemenge von Blei und Zink in eine schwere untere bleireiche Schicht, die nur 10 % Zink und 90 % Blei und in eine leichte obere bleiarme Schicht, die 97,5 % Zink und nur 2,5 % Blei enthält.

Bei 418 ° C., der Erstarrungstemperatur der oberen Schicht, ist sie bereits so bleiarm geworden, daß sie nur noch etwa 0,5 % Blei enthält, während die noch flüssige untere bleireiche Schicht immer noch etwa 6 % Zink in Lösung hält. Die Praxis hat es verstanden, obiges Verhalten für ihre Zwecke nutzbar zu machen.

Wie bereits erwähnt, legiert sich Zink leicht und in allen Verhältnissen mit Silber, und dieses Verhalten des Zinks gegen Silber einerseits und gegen Blei andererseits findet in den Blei- und Silberhütten Benutzung, um silberhaltigem Blei den Silbergehalt zu entziehen. Zu dem geschmolzenen Blei wird ein Zinkzusatz gegeben; es entsteht eine im Blei unlösliche Zinksilberlegierung, welche an die Oberfläche steigt, um durch Abschöpfen entfernt

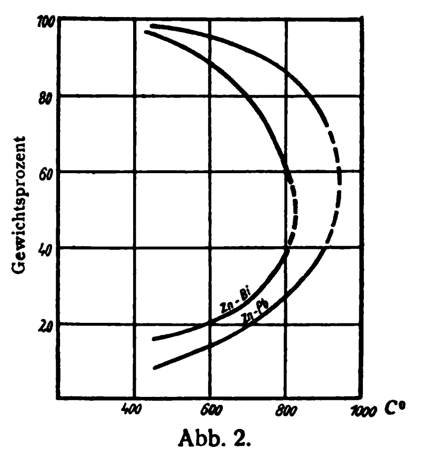


Abb. 2.
Schichtenbildung in Zink-Wismut- und Zink-Blei-Legierungen.

und dann weiter verarbeitet zu werden (Parkesverfahren).

Die abgeschöpfte Masse nennt man Zinkschaum. Mit dem Silber gehen auch Gold, Nickel und Kobalt in den Zinkschaum über, während im Blei, Antimon, Arsen, Zinn und Wismut zurückbleiben.

Von weiteren Metallpaaren, die im flüssigen Zustande nur begrenzt in einander löslich sind, wären noch zu nennen: Die Legierungen des Aluminiums mit Chrom,

Mangan und Wismuth; die Legierungen des Bleies mit Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, ferner die Schmelzen von Chrom mit Kupfer, Silber, Zinn und die Legierungen Eisen—Zinn, Kobalt—Wismut, Mangan—Silber und Nickel—Silber.

Bei einigen wenigen Metallpaaren ist das gegenseitige Lösungsvermögen dicht oberhalb der Erstarrungstemperaturen der beiden Schichten praktisch gleich Null, das heißt, es sondern sich noch im flüssigen Zustand die reinen Metalle in Schichten übereinander, wie in Abb. 3 schematisch dargestellt.

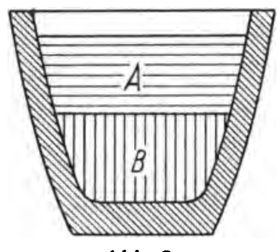


Abb. 3.

Die obere Schicht enthält das spezifisch leichtere, nahezu reine Metall A, die untere Schicht das spezifisch schwerere, nahezu reine Metall B.

Ein kennzeichnendes Beispiel hierfür ist das Metallpaar Eisen—Blei:

Werden bleihaltige Eisenerze im Hochofen verhüttet, so sammelt sich das gesamte Blei am Boden des Hochofens an, sickert durch die Fugen des Bodensteins hindurch und kann hier aufgefangen werden. Waren die Erze zugleich silberhaltig, so findet sich das Silber im Blei wieder. Das Blei ist nahezu eisenfrei und auch das erschmolzene Eisen enthält kein Blei.

Ebenso verhalten sich die Metallpaare Aluminium-Blei, Aluminium—Kadmium, Chrom—Wismut und Eisen-Wismut.

Es ist demnach unmöglich, auf feuerflüssigem Wege Legierungen dieser Metallpaare zu erschmelzen, es gelingt höchstens durch heftiges Rühren während der Erstarrung ein mechanisches Gemenge, ähnlich einer Emulsion, zu erzielen (vergl. auch Seite 6).

Quecksilber vermag in gewöhnlicher Temperatur beschränkte Mengen von Aluminium, Antimon, Blei, Gold, Wismut, Zink und Zinn aufzulösen; größere Mengen der Metalle werden gelöst, wenn die Einwirkung in erhöhter Temperatur stattfindet. Gar nicht beeinflußt werden von Quecksilber Eisen, Kobalt und Nickel. Zur Aufbewahrung und Versendung des Quecksilbers eignen sich deshalb am besten eiserne Gefäße.

4. Erstarrungsvorgänge und Gefügeaufbau.

Die reinen Metalle verhalten sich beim Erstarren und Schmelzen wie kristallinische Stoffe. Sie erstarren bei einer bestimmten Temperatur unter Freiwerden von Wärme und schmelzen bei derselben Temperatur unter Wärmeaufnahme.

Die zuweilen beobachtete Erscheinung, daß ein Metall bei einer tieferen Temperatur erstarrt, als wie es schmilzt, beruht auf Täuschung. Gewisse Metalle neigen nämlich bei der Erstarrung stark zu Unterkühlungserscheinungen, z. B. Wismut. Der Erstarrungspunkt des Wismuts liegt bei 268 °. Bei ruhigem Stehenlassen der Schmelze kristallisiert flüssiges Wismut meist nicht bei dieser Temperatur, sondern bei einer Temperatur, die 20 bis 30 ° tiefer liegt. Durch Rühren während der Abkühlung, besser noch

durch Einbringen eines kleinen Stückchens Wismut (Impfen) kann die Unterkühlung verhindert werden. In nachfolgender Tabelle sind die Erstarrungs- (bezw. Schmelz)temperaturen der wichtigsten metallischen Stoffe angegeben.

Tabelle 2.
Erstarrungs- (bzw. Schmelz)temperaturen einiger Metalle.

Metall	Temperatur in C.°	Metall	Temperatur in C.°
Quecksilber	− 39	Aluminium	+ 657
Kalium	+ 63	Silber	+ 962
Natrium	+ 98	Gold	+ 1064
Zinn	+ 232	Kupfer	+ 1084
Wismut	+ 268	Mangan	+ 1228
Kadmium	+ 322	Kobalt	+ 1440
Blei	+ 327	Nickel	+ 1451
Zink	+ 419	Eisen	+ 1505
Antimon	+ 631	Chrom	+ 1550
Magnesium	+ 651	Platin	+ 1744

Wesentlich komplizierter sind die Erstarrungsvorvorgänge bei den meisten Legierungen.

Unsere Erkenntnis des Wesens der Legierungen ist außerordentlich gefördert worden durch die Metallographie[1]). Unter dem Mikroskop kann man die einzelnen

[1]) Auf die Technik der Metallographie kann hier nicht eingegangen werden. Es sei nur kurz erwähnt, daß die mikroskopische Untersuchung von Metallen und Legierungen wegen der Lichtundurchlässigkeit der Metalle im auffallenden Licht erfolgen muß. Zu diesem Zweck schleift man an den zu untersuchenden Proben spiegelnde Flächen auf rotierenden, mit Schmirgelpapier beklebten Scheiben an und poliert schließlich auf einer mit Tuch beschlagenen Holzscheibe mit Polierrot und Wasser. Zur Erkennung des Gefüges ist vielfach noch eine Nachbehandlung des Schliffes (Reliefpolieren, Anlassen, Aetzen usw.) erforderlich. Genauere Angaben über die Technik der Metallographie vergl. E. Heyn und O. Bauer, „Metallographie“, Göschen 1909, Band I.

Gefügebildner der Legierungen vielfach unterscheiden, dagegen gibt das Mikroskop keinen Aufschluß über deren Zusammensetzung. Die Uebertragung der Gesetze der wässerigen Salzlösungen auf die Legierungen oder Lösungen der Metalle ineinander hat auch hierüber Aufschluß gebracht. Durch Beobachtung der Erscheinungen bei der Erstarrung und Abkühlung der Legierungen gelingt es in der Mehrzahl der Fälle den chemischen Aufbau der Gefügebestandteile festzustellen.

Die Erstarrungsvorgänge lassen sich am verständlichsten graphisch, durch ein sogenanntes Erstarrungsdiagramme veranschaulichen, dieser Weg soll auch hier gewählt werden.

Für die nachstehend beschriebenen Diagramme gilt folgendes: Als Ordinaten sind die Temperaturen des Beginns und des Endes der Erstarrung jedes einzelnen Gliedes der Legierungsreihe eingezeichnet und durch Kurvenzüge verbunden. Als Abszissen enthalten die Erstarrungsdiagramme den Prozentgehalt der Schmelze an den einzelnen Stoffen in Gewichtsprozenten.

Der einfachste Typus eines Erstarrungsdiagrammes ergibt sich unter der Voraussetzung, daß die im flüssigen Zustand bestehende gegenseitige Löslichkeit der beiden Stoffe A und B auch im festen Zustand in jedem Mischungsverhältnis bestehen bleibt (Erstarrungstypus I, II und III nach Roozeboom.[1])

[1]) Im Rahmen dieses kleinen Buches kann nur auf die wichtigsten Erstarrungstypen kurz hingewiesen werden. Leser die sich ausführlicher orientieren wollen, werden auf die einschlägige Literatur verwiesen: Roozeboom „Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkt der Phasenlehre," Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1904; Ruer „Metallographie in elementarer Darstellung", Leopold Voß, Leipzig 1907; E. Heyn u. O. Bauer „Metallographie II", Göschen, Leipzig-Berlin 1909; Martens-Heyn „Materialienkunde", Teil II A von E. Heyn, Springer, Berlin 1912.

Es bilden sich demnach im festen Zustande in jedem Mischungsverhältnis homogene Mischkristalle[1]).

Abb. 4 stellt das Erstarrungsdiagramm einer nach Erstarrungstypus I erstarrenden Legierungsreihe dar. C ist der Erstarrungspunkt des Stoffes A, D der des Stoffes B. Oberhalb C, to, D sind alle Legierungen flüssig und homogen. Unterhalb C, tu, D sind die Legierungen fest. Innerhalb C, to, D, tu, C bestehen die Legierungen aus einem flüssigen Teil und aus festen Mischkristallen.

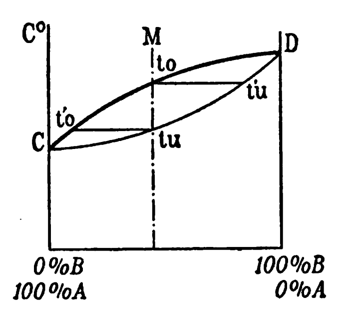


Abb. 4.
Erstarrungstypus I nach Roozeboom.

Die Erstarrung einer willkürlich gewählten Schmelze M beginnt bei to. Es scheiden sich dabei aus der flüssigen Lösung feste Mischkristalle aus, deren Zusammensetzung sich mit sinkender Temperatur entsprechend dem Verlauf des Kurvenstückes t'u—tu ändert, gleichzeitig ändert sich die Zusammensetzung des noch flüssigen Anteils der Legierung, entsprechend dem Verlauf des Kurvenstückes [illegible]'o. Ist die Temperatur bis tu gesunken, so ist die Le-

[illegible]r Mischkristallen sind homogene Kristalle zu verstehen, [illegible] oder mehreren Stoffen bestehen, ohne daß chemische [illegible]ach bestimmten stöchiometrischen Verhältnissen eintritt.

gierung erstarrt. War der Temperaturabfall während der Erstarrung genügend langsam, so besteht die Legierung nach der Erstarrung aus homogenen Mischkristallen derselben Art. Die Gefügeuntersuchung ergibt demnach bei allen Legierungen, die nach obigem Erstarrungstypus erstarren, nur e i n e n Gefügebestandteil.[1])

Abb. 5 gibt das Erstarrungsdiagramm der Legierungsreihe Gold—Platin[2]) wieder, wie es durch den unmittelbaren Versuch ermittelt wurde.

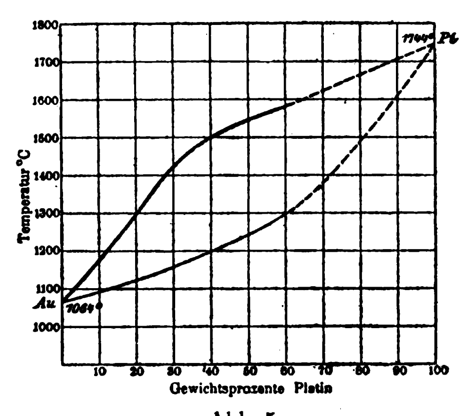


Abb. 5.
Erstarrungsdiagramm der Gold-Platin-Legierungen.

Von Metall-Paaren, die ebenfalls nach dem Erstarrungstypus I oder III erstarren, wären noch zu nennen: Eisen—Kobalt, Eisen—Mangan, Eisen—Nickel, Gold-Kupfer, Gold—Silber, Kobalt—Nickel, Kupfer—Mangan, Kupfer—Nickel, Kupfer—Platin, Magnesium—Kadmium.

---

[1]) Aehnlich liegen die Verhältnisse bei den Erstarrungstypen II u. III.

[2]) Doerinckel, Z. S. anorg. Chemie 54, 347, 1907.

Im allgemeinen verschieben sich die Eigenschaften solcher Mischkristallreihen ebenfalls kontinuierlich von den Eigenschaften des einen Ausgangsmetalles zu denen des andern. Z. B. zeigen das spezifische Volumen und der Ausdehnungskoeffizient fast lineare Abhängigkeit vom Prozentgehalt. Andere Eigenschaften, z. B. die Härte und Leitfähigkeit, weisen jedoch oft ein ausgeprägtes Maximum bezw. Minimum auf.

Bei anderen Legierungen vollzieht sich der Vorgang der Erstarrung in der Weise, daß zu Beginn des Festwerdens zunächst der eine Stoff A auszukristallisieren beginnt, die noch flüssige Lösung, in sich stetig ändernder Zusammensetzung zurücklassend, bis sie schließlich bei einer bestimmten Zusammensetzung ebenfalls fest wird.

Die zuletzt erstarrende Lösung heißt die eutektische (gutflüssige) Lösung. Untersucht man aber die erstarrte eutektische Legierung unter dem Mikroskop, so findet man, daß auch bei ihrer Erstarrung ein Zerfallen in die vorher in einander gelöst gewesenen Bestandteile A und B stattgefunden hat, daß auch die eutektische Legierung nur noch ein inniges Gemisch dieser Bestandteile bildet. Wir haben also hier (Erstarrungstypus Va nach Roozeboom), im Gegensatz zu dem bereits erwähnten Erstarrungstypus I, vollkommene Unlöslichkeit der einzelnen Stoffe ineinander nach der Erstarrung.

Abb. 6 stellt das Erstarrungsdiagramm einer nach Erstarrungstypus Va erstarrenden Legierungsreihe dar. Aus dem Diagramm ergibt sich folgendes: Oberhalb C, E, D sind die Legierungen flüssig und homogen; unterhalb F, E, G ist alles fest; innerhalb C, E, F bestehen feste Kristalle von Stoff A neben flüssiger Schmelze und innerhalb D, E, G feste Kristalle von Stoff B neben flüssiger

Schmelze. Die Erstarrung einer willkürlich gewählten Legierung M verläuft wie folgt: bei to beginnt bei sinkender Temperatur die Kristallausscheidung von A aus der flüssigen Schmelze, dadurch reichert sich die Schmelze an B an. Entsprechend dem allmählich steigenden Gehalt von B sinkt nach dem Gesetz der Gefrierpunktserniedrigung die Erstarrungstemperatur immer weiter, die noch flüssige Schmelze reichert sich immer mehr an B an, bis sie schließlich bei der Temperatur tu (eutektische Temperatur) die Zusammensetzung E (eutektische Zusammen-

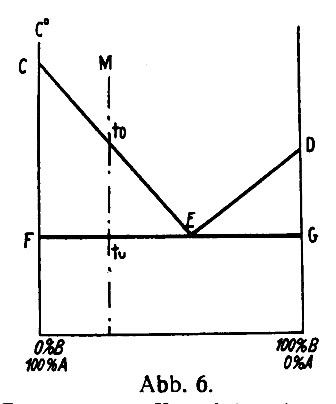


Abb. 6.
Erstarrungstypus Va nach Roozeboom.

setzung) erreicht hat. Hier ist sie sowohl für A wie auch für B gesättigt. Sie erstarrt unter wechselseitiger Ausscheidung von A und B bei gleichbleibender Temperatur. A und B lagern sich dabei in feinster Verteilung nebeneinander und bilden das schon erwähnte eutektische Gemenge. Was für die eine Schmelze gilt, gilt auch für alle andern. Längs des Kurvenastes D E scheidet sich primär nicht A, sondern die zweite Komponente des Systems B

ab. Unterhalb F, E, G ist alles fest. Wir haben demnach: längs C, E Beginn der Kristallausscheidung von A; längs D, E Beginn der Kristallausscheidung von B; längs F, E, G Erstarrung des Eutektikums. Die reinen Komponenten A und B und die eutektische Legierung E haben einen Erstarrungspunkt, alle anderen Schmelzen ein Erstarrungsintervall to-tu.

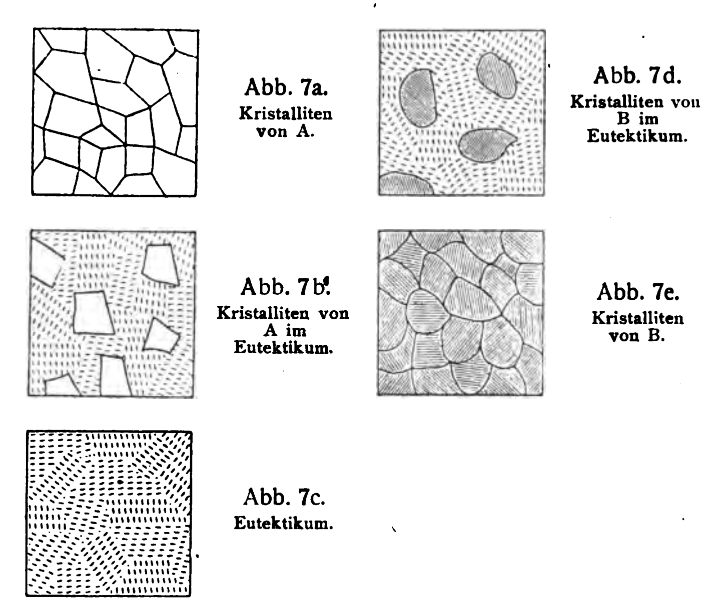


Abb. 7a. **Kristalliten von A.**

Abb. 7b. **Kristalliten von A im Eutektikum.**

Abb. 7c. **Eutektikum.**

Abb. 7d. **Kristalliten von B im Eutektikum.**

Abb. 7e. **Kristalliten von B.**

Auf Grund des Erstarrungsdiagramms läßt sich voraussagen, wie der innere Aufbau der erstarrten Legierungen sein muß. Vergl. Tabelle 3 und Abb. 7a—7e.

Von Legierungen, die nach dem Erstarrungstypus Va erstarren, wären zu nennen: Aluminium-Zinn, Antimon-Blei, Blei-Silber, Kadmium-Wismut und Kadmium-Zink. Sind die spezifischen Gewichte der einzelnen Komponen-

Tabelle 3.

Prozente an Stoff B	Innerer Aufbau der Legierung nach dem Festwerden
0 Proz. B 100 „ A	Ein Gefügebestandteil: nur Kristalliten von A (Abb. 7a).
0 – E Proz. B	Zwei Gefügebestandteile: Kristalliten von A, eingelagert im Eutektikum das aus einem innigen Gemenge von A und B gebildet wird (Abb. 7b).
0 – E Proz. B	Ein Gefügebestandteil: nur Eutektikum E (Abb. 7c).
E – 100 Proz. B	Zwei Gefügebestandteile: Kristalliten von B, eingelagert im Eutektikum E (Abb. 7d).
100 Proz. B 0 „ A	Ein Gefügebestandteil: nur Kristalliten von B (Abb. 7e).

ten A und B stark von einander verschieden, so setzen sich die sich längs der Kurvenäste C E und D E ausscheidenden Kristalliten je nach dem spezifischen Gewicht entweder am Boden ab, oder sie steigen an die Oberfläche der Schmelze. Es tritt also Entmischung oder Seigerung ein. Die einzige Legierung, die nicht seigert, ist die eutektische, da hier die Erstarrung bei gleichbleibender Temperatur unter gleichzeitiger Abscheidung von A und B vor sich geht. Seigerungserscheinungen machen sich namentlich bei Blei-Antimon-, Blei-Silber etc. Legierungen stark bemerkbar.

Heyn fand in dem langsam erkalteten Blocke einer Bleiantimon-Legierung mit 20 v. H. Antimon unten 13 v. H. Antimon, oben annähernd 40 v. H.[1])

Durch rasche Abkühlung der erstarrenden, seigernden Legierung läßt sich jedoch dieser für ihr späteres Ver-

---

[1]) E. Heyn, Die Metallographie im Dienste der Hüttenkunde, S. 22.

halten nachteiligen Entmischung der Bestandteile entgegen wirken. Deshalb zeigen sich die Folgen der Seigerung deutlicher in großen als in kleinen Abgüssen; deutlicher beim Gießen in Sand- oder Masseformen als beim Gießen in Metallformen.

Die Technik hat es auch hier verstanden, diese Erscheinung praktisch zu verwerten, lange bevor die theoretische Deutung hierfür gegeben werden konnte. Das Pattinsonverfahren der Entsilberung des Werkbleies beruht auf diesem Vorgang. Bei der Abkühlung

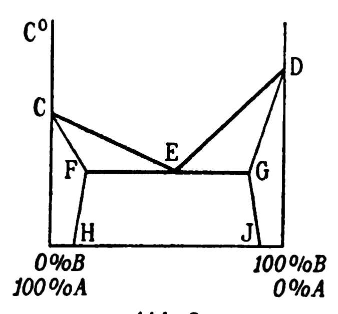


Abb. 8.
Erstarrungstypus V nach Roozeboom.

silberarmen Bleies scheiden sich zuerst längs des Kurvenastes CE Bleikristalle aus. Sie sinken zu Boden und können ausgeschöpft oder am Boden abgelassen werden. Die zurückbleibende noch flüssige Legierung reichert sich dabei immer mehr an Silber an.

Häufiger noch kommt es vor, daß die sich längs der Kurvenzüge C—E und D—E ausscheidenden Kristalle nicht die reinen Stoffe A und B sind, sondern Mischkristalle A mit einem gewissen Betrag an B und Mischkristall B mit einem gewissen Betrag an A. Das Erstarrungsdiagramm hat dann die in Abb. 8 wieder-

gegebene Gestalt (Erstarrungstypus V nach Roozeboom.) Der Punkt F zeigt an, wieviel der Stoff A und der Punkt G wieviel der Stoff B bei der Erstarrungstemperatur des Eutektikums an Stoff B bezw. an A in fester Losung (als Mischkristall) enthalten kann.

Bei fallender Temperatur kann sich das Lösungsvermögen von A für B und von B für A weiter ändern, wie durch die schrägabfallenden Linien F H und G J angedeutet. Nach neueren Untersuchungen scheint die bei weitem größere Mehrzahl der Metallegierungen nach

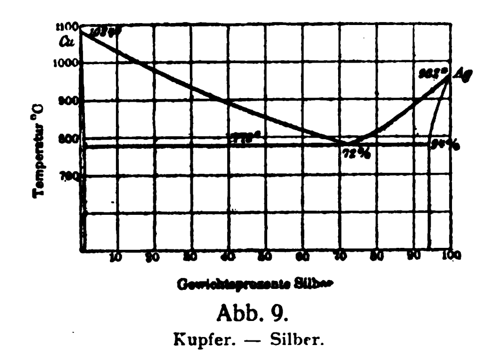


Abb. 9.
Kupfer. — Silber.

diesem Erstarrungstypus zu erstarren. Hierher gehören z. B. die Metallpaare: Aluminium-Zink, Blei-Kadmium, Blei-Wismut, Blei-Zinn, Kadmium-Zinn, Gold-Kobalt, Gold-Nickel, Gold-Wismut, Kupfer-Silber, Silber-Wismut, Wismut-Zinn, Zink-Zinn.

Abb. 9 stellt das Erstaruungsdiagramm der Kupfer-Silber-Legierungen dar, wie es durch den unmittelbaren Versuch festgestellt wurde.

Das Eutektikum enthält 72 % Silber und erstarrt bei 778°.

Alle Legierungen mit weniger als 72% Silber scheiden beim Festwerden zunächst Kupferkristalle[1]) aus, während eine silberreichere Legierung noch flüssig bleibt und diese Kupferausscheidung setzt sich fort, bis der Silbergehalt der Schmelze auf 72 % Silber angereichert ist.

Umgekehrt scheiden alle Legierungen mit mehr als 72 % Silber zunächst Silberkristalle[2]) aus, wobei die noch flüssig bleibende Schmelze immer silberärmer wird, bis ihr Silbergehalt auch wieder 72% Silber beträgt.

Dieser Fall tritt ein, wenn die Temperatur auf 778° (eutektische Temperatur) gesunken ist. Hier erstarrt der noch flüssige Rest unter wechselseitiger Abscheidung von Kupfer[1]) und Silber.[2])

Die mikroskopische Nachprüfung ergibt völlige Uebereinstimmung mit den aus dem Erstarrungsdiagramm gezogenen Schlüssen.

Abb. 10 zeigt in 480facher Vergrößerung das Aussehen einer Legierung mit 35% Silber. Die schwarzen Teile c sind das zuerst ausgeschiedene Kupfer; b ist das eutektische Gemisch von Silber und Kupfer. Abb. 11 ist die eutektische Legierung mit 72 % Silber und 28 % Kupfer (480fache Vergrößerung) und Abb. 12 entspricht einer Legierung mit 85 % Silber und 15 % Kupfer. Die hellen Teile a sind Silberkristalliten, die im Eutektikum von Silber-Kupfer eingebettet sind[3]). Beim Wieder-

---

[1]) Die Kupferkristalle sind jedoch nicht reines Kupfer, sondern sie enthalten einen kleinen Betrag an Silber in fester Lösung als Mischkristall.

[2]) Auch die Silberkristalle sind nicht reines Silber, sondern sie können nach Abb. 9 bis zu 6 % Kupfer in fester Lösung als Mischkristall enthalten.

[3]) Weder die Silber- noch die Kupferkristalliten bestehen, wie schon erwähnt, aus den reinen Metallen, sie enthalten vielmehr in fester Lösung (als Mischkristall) bestimmte Mengen des anderen Metalls (Kupfer bezw. Silber). Unter dem Mikroskop haben aber Mischkristalle das Aussehen von einheitlichen Körpern.



Abb. 10.
35 % Silber. — 65 % Kupfer.



Abb. 11.
72 % Silber. — 28 % Kupfer.

erhitzen einer Silber-Kupfer-Legierung mit mehr als 72 % Silber, schmilzt zunächst bei der eutektischen Temperatur das Eutektikum. Erst mit steigender Temperatur löst sich allmählich das zuvor ausgeschiedene Silber. Das Gleiche gilt für den Teil des Erstarrungsdiagrammes, in dem sich zuerst Kupfer ausgeschieden hat. Erst nach-



Abb. 12.
85 % Silber. — 15 % Kupfer.

dem das Eutektikum flüssig geworden ist, löst sich allmählich das Kupfer.

Obiges gilt für alle nach dem Erstarrungstypus V oder Va erstarrenden Legierungen.

Hierauf gründet sich ein von H. J. Hannover vorgeschlagenes Verfahren zur Erzeugung poröser Metalle[1]) für

[1]) H. J. Hannover „Ueber die Herstellung poröser Metalle", Centralblatt der Hütten- und Walzwerke XVI, 1912, No. 19.

Akkumulatorenplatten. Hannover erhitzte Platten aus einer Blei-Antimonlegierung einige Grade über die eutektische Temperatur (246°) und entfernte das flüssig gewordene Blei-Antimon-Eutektikum durch Herauspressen oder durch Zentrifugieren.

Er erhielt auf diese Weise vollkommen poröse Bleiplatten, die aber trotzdem einen guten inneren Zusammenhang hatten.

Auch der Fall kommt häufig vor, daß aus der erstarrenden Schmelze eine oder mehrere bestimmte che-

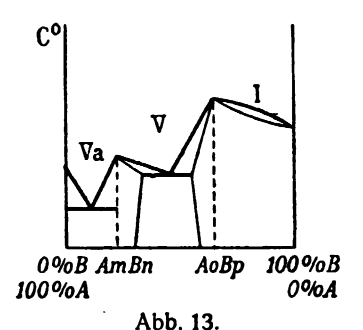


Abb. 13.
Kombination der Erstarrungstypen Va, V u. I beim Auftreten chemischer Verbindungen zwischen den Komponenten A u. B.

mische Verbindungen statt des Einzelmetalls auskristallisieren. Die chemische Verbindung verhält sich alsdann genau so wie eines der beiden Endglieder A bzw. B der besprochenen Erstarrungsdiagramme. Bilden z. B. die beiden Stoffe eine oder mehrere chemische Verbindungen miteinander, so haben wir zwei oder mehrere Systeme vor uns, von denen jedes nach einem anderen Erstarrungstypus erstarren kann.

In Abb. 13 sind z. B. zwei chemische Verbindungen, AmBn und AoBp, zwischen den reinen Stoffen A und B

angenommen. Das Diagramm stellt eine Kombination der Erstarrungstypen V, Va und I dar.

Abb. 14 zeigt das Erstarrungsdiagramm der Kupfer-Magnesiumlegierungen.[1]) Es treten zwei chemische Ver-

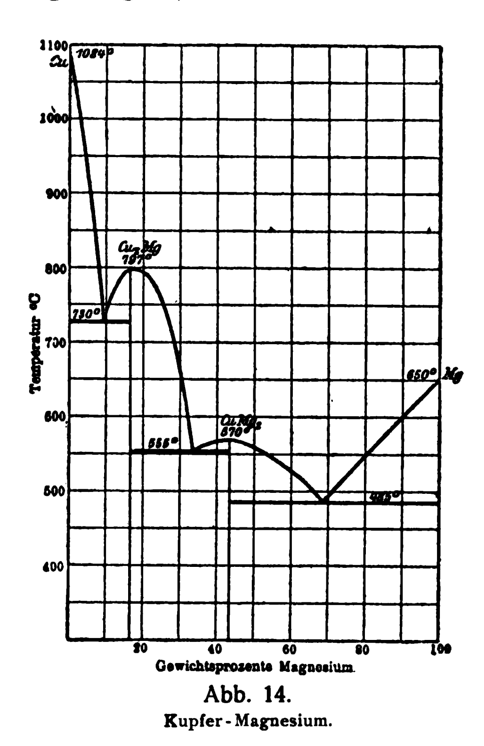


Abb. 14.
Kupfer-Magnesium.

bindungen $Cu_2 Mg$ und $Cu Mg_2$ auf, alle drei Systeme erstarren hier nach Typus Va.

In anderen Fällen wieder bildet sich eine Verbindung erst nachdem ein Teil der Legierung bereits erstarrt ist.

---

[1]) Erstarrungskurve nach R. Sahmen, Ztschr. anorg. Ch. 57, 31, 1908.

Einige Verbindungen der wichtigsten Metallpaare sollen hier mitgeteilt werden: Silber bildet mit Aluminium zwei Verbindungen $Ag_2 Al$ und $Ag_3 Al$; mit Kadmium drei $Ag Cd_4$, $Ag Cd_3$, $Ag_2 Cd_3$; mit Magnesium wieder zwei $Ag Mg$, $Ag Mg_3$, mit Antimon und Zinn je eine $Ag_3 Sb$ und $Ag_3 Sn$. Zwischen Aluminium und Magnesium kennen wir nur eine Verbindung $Al_3 Mg_4$, zwischen Aluminium und Kupfer dagegen drei $Al Cu_3$, $Al Cu$ und $Al_2 Cu$, desgleichen zwischen Alumnium und Nickel $Al_3 Ni$, $Al_2 Ni$ und $Al Ni$. Die Verbindungen zwischen Kupfer und Magnesium wurden bereits erwähnt (Abb. 14). Wichtig für die Technik sind die Verbindungen zwischen Kupfer-Zinn $Cu_3 Sn$ und Kupfer-Zink $Cu_2 Zn_3$, durch die die Eigenschaften der entsprechenden Legierungen stark beeinflußt werden. Magnesium bildet mit Antimon, Blei und Zinn je eine Verbindung $Mg_3 Sb_2$, $Mg_2 Pb$ und $Mg_2 Sn$. Obige Beispiele mögen genügen, sie ließen sich noch zahlreich vermehren[1]).

Beim Auftreten von chemischen Verbindungen pflegen die Eigenschaften der Legierung sich sprunghaft zu ändern, so daß die Kenntnis, ob chemische Verbindungen zwischen zwei Stoffen möglich sind, auch praktisch von Wert ist. Das systematische Studium der zwischen den Metallen möglichen Erstarrungsdiagramme hat schon jetzt zur Erkennung gewisser Gesetzmäßigkeiten geführt. Die Neigung zweier Metalle, miteinander chemische Verbindungen einzugehen, wächst im allgemeinen mit der Entfernung der beiden Elemente in ihrer Stellung im

---

[1]) Eine gute Zusammenstellung der bisher untersuchten binären Metallegierungen findet sich in dem Werk von K. Bornemann „Die binären Metallegierungen“ Teil I und Teil II, Verlag W. Knapp in Halle, 1912.

periodischen System. Elemente, die im periodischen System nebeneinander stehen, verbinden sich nicht zu chemischen Verbindungen etc. (Vergl. auch Seite 2).

In der Technik werden auch vielfach Legierungen dreier und mehr Stoffe verwendet. Hierher gehören z. B. die sogen. Weißmetalle (Zinn, Blei, Antimon oder Zinn, Blei, Antimon und Kupfer), zahlreiche Bronzen (Kupfer, Zinn, Zink) und viele andere Legierungen. Wir haben somit Lösungen von drei, von vier und mehr Stoffen ineinander vor uns. Die Erstarrungsdiagramme dieser ternären, quaternären etc. Legierungen sind erst an einigen wenigen Beispielen studiert, sie sind erheblich komplizierter als die oben beschriebenen binären Diagramme.

II. Eigenschaften der Legierungen.

1. Allgemeines.

Durch Legierung eines Metalles mit einem andern Metalle oder mit einem Nichtmetalle, ist man imstande, seine Eigenschaften in erheblichem Maße zu verändern. Schon sehr kleine Mengen eines von dem Metalle aufgenommenen fremden Körpers vermögen oft deutliche Einwirkungen hervorzubringen. Diese Beeinflussung der Eigenschaften der Metalle durch Legierung kann, in richtiger Weise benutzt, bei der Herstellung von Gebrauchsgegenständen aus Metallen nutzenbringende Verwendung finden, indem sie uns befähigt, die Eigenschaften des Metalls den ins Auge gefaßten Zwecken entsprechend zu regeln.

Es erklärt sich hieraus, daß man Legierungen häufiger als nicht legierte Metalle verwendet.

Daß die Eigenschaften der Legierungen keineswegs das durch Gesellschaftsrechnung aus dem Maße der Eigenschaften der legierten Einzelmetalle sich ergebende Maß besitzen, wurde schon oben erwähnt. Es ist deshalb auch nicht möglich, bei der Neubildung einer noch unbekannten Legierung schon mit Sicherheit ihre Eigenschaften im Voraus zu bestimmen. Eine gewisse Gesetzmäßigkeit läßt

sich jedoch erkennen, wenn man von einem allgemeineren Standpunkte aus beobachtet, in welcher Weise die Eigenschaften der Einzelmetalle durch ihre Legierung beeinflußt werden; und indem man neue Gesetze beachtet, erlangt man die Möglichkeit, sich bei der Herstellung neuer Legierungen vor den zahlreichen Mißerfolgen zu hüten, welche denen beschieden zu sein pflegen, die lediglich aufs Geratewohl, ohne sich um vorhandene Naturgesetze zu kümmern, ihre Versuche anstellen.

Diese allgemeinen, die wichtigeren Eigenschaften der Legierungen betreffenden Gesetze sollen in Folgendem besprochen werden.

2. Festigkeit.

Unter den verschiedenen Arten der Festigkeit: Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Biegungsfestigkeit u. a., wird am häufigsten die erstere ermittelt. Gewöhnlich, wenn auch nicht immer, steigen und fallen mit der Zugfestigkeit auch die sonstigen Arten der Festigkeit. In Folgendem ist daher auch in erster Reihe diese gemeint, sofern nichts anderes ausdrücklich bemerkt ist.

Wie die Festigkeit der reinen Metalle hängt auch diejenige der Legierungen in erheblichem Maße von der vorausgegangenen Behandlung ab. Schon die Art der Abkühlung nach dem Guß ist von großem Einfluß. Auch ist man imstande, die Festigkeit mancher Metalle und Legierungen durch mechanische Bearbeitung im kalten Zustande — Hämmern, Walzen, Ziehen — auf mehr als das doppelte Maß zu steigern; dieser Umstand muß bei Vergleichen der Festigkeit legierter und nicht legierter Metalle wohl berücksichtigt werden. Es würde ein großer

Fehler sein, die Festigkeit eines gegossenen Metalls mit der Festigkeit eines Drahtes oder einer geschmiedeten Stange der aus jenem Metalle hergestellten Legierung vergleichen zu wollen. Auch die Form und die Größe des beanspruchten Querschnitts kommen in Betracht; im allgemeinen ist die Festigkeit, bezogen auf die Flächeneinheit des Querschnitts (1 qmm oder 1 qcm) um so größer, je kleiner der Querschnitt ist. Ferner müssen die Zufälligkeiten berücksichtigt werden, welche bei einzelnen Festigkeitsversuchen gar leicht sich geltend machen, und sichere Schlußfolgerungen lassen sich deshalb nur ziehen, wenn man eine größere Zahl gleicher Versuche ins Auge faßt.

Für die Einflüsse nun, welche durch Legierung auf die Festigkeit der Metalle ausgeübt werden, läßt sich folgendes algemeine Gesetz aufstellen:

Durch die Aufnahme eines fremden Körpers wird die Festigkeit der Metalle erhöht. Sie wächst mit dem Gehalte an jenem fremden Körper, bis dieser ein gewisses, in den einzelnen Fällen verschiedenes Maß erreicht hat, nach dem Ueberschreiten dieser Grenze sinkt die Festigkeit wieder, häufig sehr rasch, sofern nicht der fremde Körper an und für sich eine höhere Festigkeit besitzt.

Der Gehalt des fremden Körpers, bei welchem jener Wendepunkt eintritt, ist sehr verschieden. Bei einigen Körpern liegt er unter 1 v. H. des Gewichtes der Legierung; bei andern erreicht die Festigkeit der Legierung erst ihr höchstes Maß, wenn die Menge des fremden Kör-

pers fast eben so viel beträgt als die des eigentlichen Metalls.

Auch Metalle oder Metalloide, welche selbst nur geringe Festigkeit besitzen, vermögen die Festigkeit eines Metalls, mit dem sie in bestimmter Menge legiert werden, in oft erheblichem Maße zu steigern. Beispiele hierfür sind zahlreich.

Nach Versuchen von E. Münker[1]) wird die Festigkeit des Kupfers schon durch sehr kleine Mengen von Phosphor, Mangan und Zinn deutlich gesteigert, wie die in Tabelle 4 mitgeteilten Versuchsergebnisse zeigen. Es handelt sich hierbei um Platten, die von etwa 7 bis 8 mm Dicke in 15 Stichen auf 3 mm kalt fertiggewalzt und darauf bei 500° C. eine halbe Stunde ausgeglüht und der langsamen Abkühlung unterworfen wurden.

Tabelle 4.

Nr. der Probe	Phosphor %	Mangan %	Zinn %	Bei 500° C. ausgeglüht und langsam abgekühlt: Bruchgrenze kg/qmm	Bruchdehnung %
1	reines Kupfer			22,83	46,64
2	0,014	—	—	22,96	46,54
3	0,042	—	—	23,04	45,84
4	0,092	—	—	23,62	44,80
5	0,173	—	—	24,33	41,70
6	0,399	—	—	25,52	40,74
7	0,563	—	—	27,07	40,02
8	1,062	—	—	28,84	39,87

[1]) E. Münker „Ueber den Einfluß geringer Mengen Phosphor, Mangan und Zinn auf die physikalischen Eigenschaften von Kupfer", Metallurgie, 1912, 6, Seite 185.

Nr. der Probe	Phosphor %	Mangan %	Zinn %	Bei 500° C. ausgeglüht und langsam abgekühlt	
				Bruchgrenze kg/qmm	Bruchdehnung %
9	Spur	0,04	—	22,94	45,69
10	"	0,07	—	23,35	44,72
11	"	0,12	—	23,80	44,52
12	"	0,19	—	23,53	44,15
13	"	0,29	—	24,28	44,43
14	"	0,40	—	24,41	44,31
15	"	0,61	—	24,57	44,38
16	"	0,98	—	25,82	44,41
17	"	1,34	—	27,04	42,58
18	"	1,49	—	27,40	40,56
19	Spur	—	0,13	24,70	43,97
20	"	—	0,24	25,28	43,22
21	"	—	0,32	25,57	43,05
22	"	—	0,40	25,45	43,08
23	"	—	0,53	25,99	42,68
24	"	—	0,62	26,88	42,32
25	"	—	0,88	26,79	42,10
26	"	—	1,15	27,62	42,39
27	"	—	1,24	28,76	42,26
28	"	—	1,46	29,31	41,35

Die Festigkeit steigt in allen Fällen mit steigendem Gehalt an den drei Stoffen. Ueber die Aenderungen der Festigkeit des Kupfers durch höhere Zinngehalte liegen umfangreiche Untersuchungen von Shepherd und Upton[1] vor. In Abb. 15 sind die von Shepherd und Upton gefundenen Höchstwerte für die Zugfestigkeit und Dehnung einer Reihe im Rohguß geprüfter Kupferzinnlegierungen bis zu 35 % Zinn graphisch aufgetragen. Zunächst steigt die

[1]) Journal of Physical Chemistry 1905, 9, 441.

Festigkeit ziemlich regelmäßig an, sie erreicht ihren Höchstwert bei etwa 17 bis 18 % Zinn und fällt dann sehr schnell ab. Nach Thurston[1]) beträgt die Festigkeit bei 42 % Zinn nur noch 1,0 kg/qmm, also weniger als bei reinem Zinn, das im gegossenen Zustand etwa 2,5 kg/qmm Zugfestigkeit besitzt. Beachtenswert ist, daß das Minimum der Festigkeit mit der Zusammensetzung der in Kupfer-

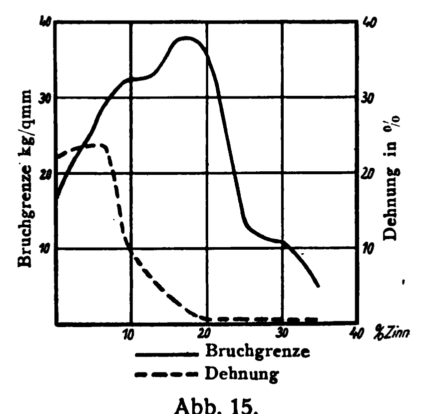


Abb. 15.
Kupfer-Zinnlegierungen (Rohguß).

Zinnlegierungen auftretenden chemischen Verbindung Cu_3Sn (mit 38,5 % Zinn) nahe zusammenfällt.

Ähnliche Einflüsse zeigen sich, wenn die Legierungen auf Druckfestigkeit oder auf Biegungsfestigkeit in Anspruch genommen werden. Nach T h u r s t o n ergibt sich die höchste Druckfestigkeit der Zinnkupferlegierungen bei

---

[1]) H. Thurston „Report on a preliminary investigation of the properties of the copper-tin alloys". Washington 1879, S. 374.

einem Zinngehalte von 30 v. H. (103 kg auf 1 qmm)[1]), die höchste Biegungsfestigkeit bei einem Zinngehalte von 17,5 v. H. (47,50 kg), also bei derselben Zusammensetzung, welche auch die höchste Zugfestigkeit ergab.

Noch stärkere Wirkungen als Zinn übt ein Aluminiumzusatz auf die Festigkeit des Kupfers aus. Gegossenes Aluminium besitzt eine Zugfestigkeit von ungefähr 10 kg/qmm, gegossenes Kupfer von 18 bis 19 kg/qmm;

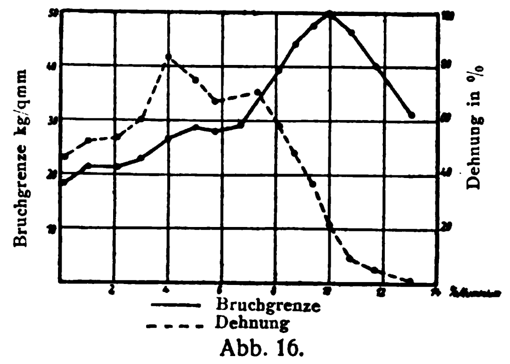


Abb. 16.
Kupfer-Aluminiumlegierungen (Sandguß).

für Aluminiumkupferlegierungen mit steigendem Aluminiumgehalt fanden Carpenter und Edwards[2]) folgende Festigkeitsziffern (Sandguß):

---

[1]) Es muß hier jedoch erwähnt werden, daß bei den Legierungen mit weniger als 20 v. H. Zinn oder weniger als 20 v. H. Kupfer von einer eigentlichen Bruchbelastung der Druckfestigkeit überhaupt nicht die Rede sein kann. Sie werden, wie geschmeidige Metalle überhaupt, bei Zunahme des Drucks mehr und mehr zusammengedrückt, sie fließen auseinander, ohne wirklichen Bruch zu erleiden. Erst bei Zinngehalten zwischen 23 und 80 v. H. trat bei Thurstons Versuchen wirklicher Bruch ein.

[2]) H. C. H. Carpenter u. C. A. Edwards „On the properties of the alloys of Aluminium and Kopper", 8 Bericht an das „Alloys Research Committee of the Institution of Mechanical Engineers." The National Physical Laboratory Vol. III, 1908.

Tabelle 5.
Aluminium-Kupferlegierungen.

Nr. der Probe	Aluminium in %	Bruchgrenze kg/qmm	Dehnung % (2" engl. = 50,8 mm)	Streckgrenze / Bruchgrenze
1	0,1	18,1	46,0	0,33
2	1,06	21,1	52,0	0,22
3	2,1	21,2	53,5	0,25
4	2,99	22,8	60,0	0,26
5	4,05	26,3	83,0	0,21
6	5,07	28,5	75,0	0,24
7	5,76	28,0	67,0	0,27
8	6,73	29,3	nicht bestimmt	0,26
9	7,35	33,5	71,0	0,31
10	8,12	39,2	58,0	0,31
11	8,67	44,2	48,0	0,35
12	9,38	47,8	36,2	0,32
13	9,90	49,9	21,7	0,36
14	10,78	46,5	9,0	0,48
15	11,73	40,0	5,0	0,55
16	13,02	31,1	1,0	1,0

In Abb. 16 sind die Werte für die Bruchgrenze und Dehnung graphisch aufgetragen. Bei 10% Aluminium ist die Grenze der höchsten Festigkeit erreicht.

Auch Zink, dessen Festigkeit im gegossenen Zustande kaum über 15 kg hinausgeht, vermag bis zu einem gewissen Grade die Festigkeit des Kupfers zu erhöhen, obschon die Wirkung eines Zinkzusatzes weit hinter derjenigen eines Zusatzes von Zinn oder Aluminium zurückbleibt.

Abb. 17 gibt die Festigkeitseigenschaften gegossener Kupferzinklegierungen nach Kudriumow[1]) wieder. Die

[1]) Kudriumow „Monographie der Kupfer-Zinklegierungen", Petersburg 1904.

Festigkeitskurve steigt zunächst langsam bis zu einem Zinkgehalt von etwa 36 % an, von hier ab erhebt sie sich steil und erreicht den Höchstwert bei etwa 45 % Zink, um dann schnell wieder abzufallen. Bei Versuchen von Charpy[1]) mit gewalzten und nach dem Walzen ausgeglühten Probestäben ergaben sich folgende Werte:

Zinkgehalt, Hundertstel	0,0	10,1	18,4	30,2	40,4	44,7	49,7
Zugfestigkeit in kg a. 1 qmm	21,8	24,1	26,8	28,9	38,4	48,0	10,0

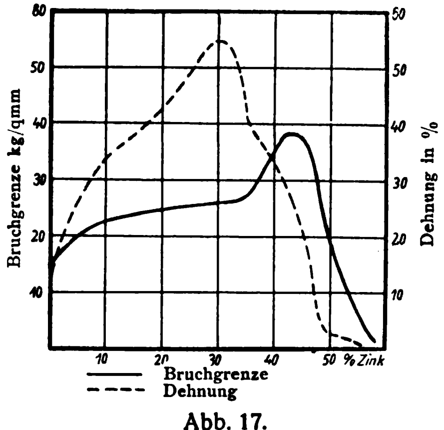


Abb. 17.
Kupfer-Zinklegierungen (gegossen).

Bei diesen Versuchen liegt demnach ebenfalls die Grenze der höchsten Festigkeit bei etwa 45 % Zink.

Recht deutlich zeigt sich auch beim Golde und Silber die Festigkeitssteigerung, welche durch Legierung hervorgerufen werden kann. Der üblichste Zusatz zu jenen Metallen besteht aus Kupfer. Während nach Karmarsch[2])

[1]) Bulletin de la Société d'Encouragement 1896, S. 192; in deutscher Bearbeitung in Dinglers Polyt. Journal Bd. 313, S. 99.

[2]) Handbuch der mechan. Technologie, 5. Aufl., S. 60, 62, 66, 69.

hartgezogene Drähte aus reinem Golde eine Festigkeit von durchschnittlich 26 kg, aus reinem Kupfer von durchschnittlich 39 kg auf 1 qmm besitzen, zeigen Golddrähte mit 10 v. H. Kupfer eine solche von 45,8 kg; reines Silber, hart gezogen, 36 kg, eine Legierung aus 75 Teilen Silber mit 25 Teilen Kupfer durchschnittlich 77 kg.

Durch Zusatz eines dritten Metalles zu einer aus zwei Metallen bestehenden Legierung ist man nicht selten imstande, eine abermalige Festigkeits - Steigerung hervorzurufen.

Auch hierfür gibt es verschiedene Beispiele. Kupferzinklegierungen, welche, wie oben erwähnt, an und für sich geringere Festigkeit zu besitzen pflegen als Kupferzinn- oder Kupferaluminiumlegierungen, können durch Zusatz kleiner Mengen Zinn, Eisen, Aluminium, Mangan eine auffällige Steigerung ihrer Festigkeit erfahren. So z. B. fand Thurston[1]) die Zugfestigkeit einer gegossenen Legierung aus 55 Teilen Kupfer, 43 Teilen Zink, 2 Teilen Zinn gleich 45,7 kg auf 1 qmm; durch Zusatz von 1 Teil Aluminium zu einer gegossenen Legierung aus 57 Teilen Kupfer und 42 Teilen Zink läßt sich deren Festigkeit auf mehr als 40 kg, durch Zusatz von 4 Hundertstel Aluminium auf mehr als 60 kg steigern.[2])

Über den Einfluß des Mangans auf die Festigkeitseigenschaften der Kupfer—Aluminiumlegierungen stellten

---

[1]) Transactions of the American society of civil engineers, Bd. X, S. 1; Dinglers Polyt. Journal, Bd. 254, S. 377.

[2]) Ztschr. d. Vereins deutscher Ingenieure 1889, S. 959.

Rosenhain und Lautsberry[1]) umfassende Versuche an. Im allgemeinen läßt sich aus ihren Versuchen schließen, daß die manganhaltigen Legierungen den manganfreien Kupfer-Aluminiumlegierungen in bezug auf Festigkeit und Dehnung entschieden überlegen sind. So zeigte z. B. eine in Sand gegossene Legierung mit 10 % Aluminium und 1 % Mangan 57,2 kg/qmm Bruchfestigkeit bei 22,5% Dehnung, während die entsprechende manganfreie Legierung nur 50,72 kg/qmm Bruchfestigkeit und 21,7% Dehnung ergeben hatte.

Ebenso erhalten die mit Kupfer legierten Golddrähte eine noch höhere Festigkeit, wenn man als drittes Metall eine gewisse Menge Silber hinzufügt. Nach Karmarsch[2]) besaßen hartgezogene Drähte aus 58,3 Teilen Gold, 29,7 Teilen Kupfer, 12 Teilen Silber eine Festigkeit von durchschnittlich 102 kg auf 1 qmm. Ähnliche Fälle lassen sich mehrfach beobachten; nicht unerwähnt darf indessen bleiben, daß mitunter auch eine Abminderung der Festigkeit durch ein drittes Metall herbeigeführt werden kann.

Mit der Bruchfestigkeit steigt bei der Legierung eines Metalles regelmäßig die Streckgrenze und zwar in der Regel noch in stärkerm Maße als die Festigkeit; Streckgrenze und Bruchgrenze rücken näher zusammen. Gewöhnlich steigt die Streckgrenze noch, wenn bei der Vermehrung des zugesetzten fremden Kör-

---

[1]) W. Rosenhain u. F. C. A. H. Lautsberry „On the properties of some alloys of Kopper, Aluminium and Manganese", 9 Bericht an das Alloys Research Committe of the Institution of Mechanical Engineers. The National physical Laboratory, Vol. VII, 1911.

[2]) Handbuch der mechanischen Technologie, 5. Aufl., S. 60 u. f.

pers das höchste Maß der Festigkeit bereits erreicht ist und eine Wiederabnahme der Festigkeit eintritt; Streckgrenze und Festigkeit fallen mitunter schließlich zusammen.

Dieses Gesetz ist nicht ohne Bedeutung für die Verwendung der Legierungen. Je näher Streckgrenze und Festigkeit bei einander liegen, desto größer ist die Gefahr für einen Bruch, falls — absichtlich oder unabsichtlich — bei einer Beanspruchung des betreffenden Körpers die erstere überschritten wird, desto spröder ist der Stoff. Er wird dadurch ungeeigneter sowohl für die mechanische Verarbeitung durch Schmieden, Walzen, Pressen, Ziehen, als auch für die Verwendung zur Herstellung von Gegenständen, welche Stößen oder Erschütterungen unterworfen sind (Geschützen, Maschinenteilen mannigfacher Art, Glocken). Für Kupfer-Zinnlegierungen fand Thurston[1]) z. B. das Verhältnis

	$\frac{\text{Streckgrenze}}{\text{Bruchgrenze}}$
bei Legierungen mit 10 v. H. Zinn	0,586
„ „ „ 12,5 „ „	0,675
„ „ „ 23,7 „ „	1,000

Bei den Legierungen mit 23,7 v. H. Zinn sind demnach Streckgrenze und Bruchgrenze gleich; erstere kann bei der Beanspruchung nicht überschritten werden, ohne daß Bruch eintritt. Die Legierung erträgt keine bleibende Formveränderung, sie ist sehr spröde. Eine Abnahme dieses Verhältnisses trat erst wieder ein, als der Zinngehalt über

[1]) Transactions of the American society of civil engineers, Bd. X, S. 1.

75 v. H. betrug und die Festigkeit sich auf etwa 4 kg auf 1 qmm verringert hatte.

Für Kupfer-Aluminium-Legierungen ist das Verhältnis $\frac{\text{Streckgrenze}}{\text{Bruchgrenze}}$ in Tabelle 5 angegeben.

Ähnliche Beobachtungen lassen sich bei verschiedenen anderen Legierungen machen.

Häufiger mißt man die Zähigkeit (als Gegensatz der Sprödigkeit) durch die bei Festigkeitsprüfungen vor dem Bruche eintretende Formveränderung des Probestücks, bei Prüfungen der Zugfestigkeit also durch die stattfindende Verlängerung (Dehnung) bezogen auf eine bestimmte Länge, oder auch, obschon seltener, durch die Verringerung des Querschnitts an der Bruchstelle. Je bedeutender diese Formveränderung ist, desto mehr mechanische Arbeit wird dafür verbraucht, desto geringer ist die Gefahr für einen plötzlichen Bruch unter der Einwirkung eines Stoßes. Je mehr die Festigkeit eines Metalles durch seine Legierung gesteigert wird, desto mehr pflegt seine Zähigkeit (Dehnung) in der soeben erwähnten Weise gemessen, geschmälert zu werden. Ausnahmen von dieser Regel kommen jedoch ebenfalls vor.

Für die besprochenen Kupfer-Zinn-, Kupfer-Aluminium- und Kupfer-Zinklegierungen sind die gefundenen Werte für die Dehnung in % in den Abb. 15, 16 und 17 miteingetragen. Die Kupfer-Aluminium- und Kupfer-Zinklegierungen zeigen zunächst einen starken Anstieg der Dehnungskurve. Sie erreicht bei den Kupfer-Aluminiumlegierungen bei etwa 4% Aluminium ihren Höchstwert, um dann schnell abzufallen. Der Höchstwert der Dehnbarkeit gegossener Kupfer-Zinklegierungen liegt bei 30% Zink. Der Anstig der Dehnungskurve ist bei den Kupfer-

Zinnlegierungen im gegossenen Zustand nur sehr unbedeutend, schon bei 6% Zinn tritt starke Verringerung der Dehnbarkeit ein.

Durch Veränderung der Abkühlungsgeschwindigkeit beim Guß, durch nachträgliches Ausglühen, durch Erhitzen auf höhere Wärmegrade mit nachfolgender Abschreckung in Wasser, Öl usw. lassen sich die Eigenschaften gewisser

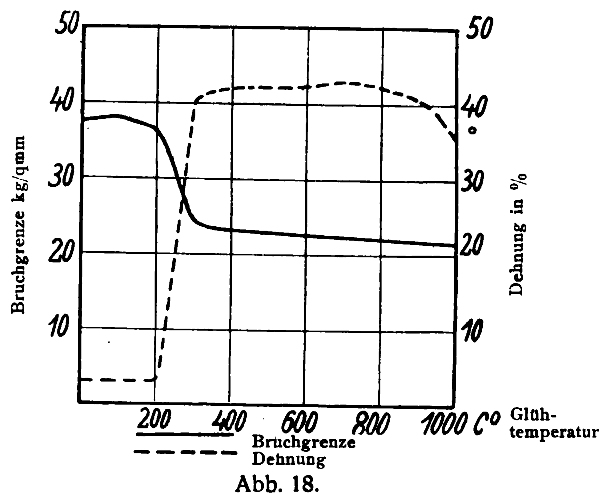


Abb. 18.
Einfluß des Glühens auf die Festigkeitseigenschaften kaltgereckten Kupfers.

Legierungen in weitgehendem Maße verändern. So kann z. B. die Dehnbarkeit gegossener Kupfer-Zinnlegierungen durch Erwärmen auf Rotglut und Abschrecken in Wasser um etwa 5% vergrößert werden. Bei Bronzen mit weniger als 88% Kupfer wird durch diese Behandlung auch die Festigkeit erheblich erhöht. Von noch erheblicherem Einfluß auf die Festigkeit vor allem aber auf die Dehnung ist nach Versuchen von Shepherd und Upton langandauern-

des Ausglühen (etwa 1 Woche lang) bei 540 C ° mit nachfolgendem Abschrecken in Wasser. Eine Bronze mit 8% Zinn, die im Rohguß 31,3 kg/qmm Festigkeit bei 17% Dehnung aufwies, zeigte nach obiger Behandlung 33 kg/qmm Festigkeit, die Dehnung war aber auf 47,5% gestiegen. Eine

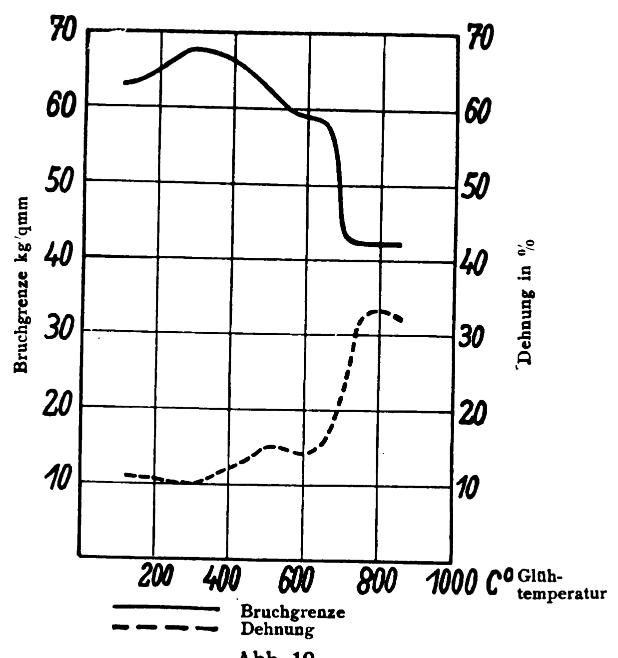


Abb. 19.
Einfluß des Glühens auf die Festigkeitseigenschaften kaltgereckten Nickels.

Bronze mit 10% Zinn hatte im Rohguß 32,6 kg/qmm Festigkeit bei nur 8,5% Dehnung, nach obiger Behandlung 33,8 kg/qmm Festigkeit bei 39% Dehnung.

Wie schon eingangs erwähnt, ist man auch imstande, durch Bearbeitung im kalten Zustand (Kaltrecken) die

Festigkeit mancher Metalle und Legierungen auf mehr als das doppelte Maß zu steigern, allerdings unter gleichzeitiger starker Verringerung der Dehnbarkeit. Durch nachträgliches Ausglühen wird die Festigkeit wieder verringert, die Dehnbarkeit steigt an. Die Abb. 18 und 19 zeigen den Einfluß des Glühens auf die Festigkeitseigenschaften kaltgereckten Kupfer [99,66% Cu.] (nach Kudriumow)[1]) und Nickels (nach Guillet)[2]). Die Wirkung des Kaltreckens wird, wie die Abbildungen erkennen lassen, erst durch Glühen innerhalb eines recht kleinen Temperaturintervalls ti (zwischen 200 und 300 C ° beim Kupfer und zwischen 650 und 750 C ° beim Nickel) aufgehoben. Es soll aber erwähnt werden, daß für verschiedene Kupfersorten das Temperaturintervall ti sich nach oben oder nach unten hin verschieben kann[3]). Das gleiche gilt für Nickel und für die verschiedenen Legierungen.[4]) Abb. 20 zeigt nach Grard die Wirkung des Glühens auf Festigkeit und Dehnung kaltgewalzten Messingbleches mit 66,33% Kupfer und 33,6% Zink. Die Behandlung, die das Blech durchgemacht hatte, war folgende: Von etwa 38 mm Dicke war das Blech zunächst in 8 Stichen auf 22 mm Dicke kalt heruntergewalzt, darauf ausgeglüht und nach dem Erkalten in 8 Stichen auf 10 mm Dicke kalt heruntergewalzt, wieder ausgeglüht und in 12 Stichen auf 3 mm Dicke kalt heruntergewalzt.

---

[1]) Kudriumow „Monographie der Kupfer-Zinklegierungen", Petersburg 1904.

[2]) Guillet „Ueber das Anlassen kaltbearbeiteter Erzeugnisse". Comptes rendus B. 151, 1910, S. 1127.

[3]) Vergl. A. Marten u. E. Heyn „Materialienkunde", Teil IIA von E. Heyn, Absatz 297, 1912, Verlag Julius Springer.

[4]) Capitaine Grard „Revue de Métallurgie" 1909, Oktober. Auszug in Metallurgie 1910, S. 651, Patronenmessing, Kugelmessing und Elektrolytkupfer.

Wenn von der Festigkeit eines Metalles oder einer Legierung gesprochen wird, pflegt man die stillschweigende Annahme zu machen, daß dabei die Festigkeit bei gewöhnlichen Wärmegraden (etwa + 15 bis 20 ° C) gemeint ist. Auch im vorliegenden Buch ist, wo nichts anderes bemerkt, diese stillschweigende Annahme beibehalten. Die Festigkeitseigenschaften der metallischen Stoffe ändern sich aber mit der Temperatur meist sehr beträchtlich. Die Aenderung kann stetig sein, es treten

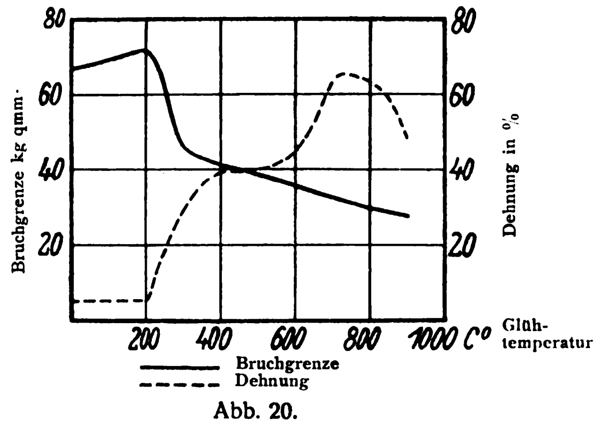


Abb. 20.

Einfluß des Glühens auf die Festigkeitseigenschaften kaltgewalzten Messings (66,33 % Cu und 33,66 % Zinn)

aber auch plötzlich Aenderungen bei stetig geänderter Temperatur auf.

Im allgemeinen gilt das Gesetz, daß mit steigender Temperatur die Festigkeit abnimmt und die Dehnbarkeit häufig (jedoch nicht immer) zunächst eine Steigerung erfährt, um dann von einer bestimmten Temperatur an, schnell abzufallen. Mit sinkender Tem-

peratur pflegt die Festigkeit anzusteigen unter gleichzeitiger Verringerung der Dehnbarkeit des Stoffes. Ausnahmen von diesem Gesetz kommen jedoch auch vor.

Die Kenntnis des Verhaltens der wichtigsten Metalle und Legierungen bei verschiedenen Temperaturen ist für den Konstrukteur von größter Wichtigkeit, sind doch im

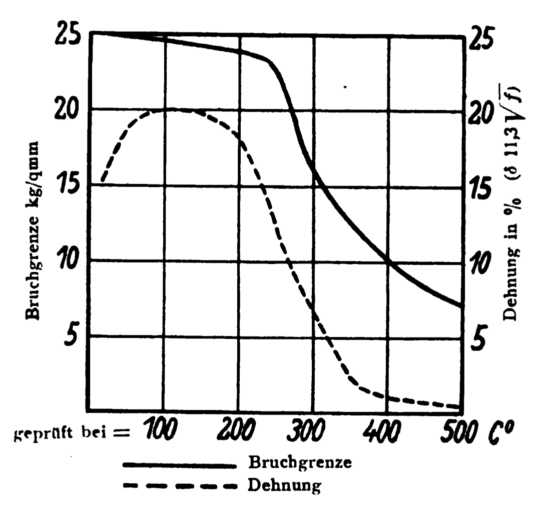


Abb. 21.
Festigkeit und Dehnung einer Bronze mit 86,7 % Cu; 8,8 % Sn; 3,95 % Zn; 0,5 % Pb bei höheren Wärmegraden.

praktischen Betriebe viele Konstruktionsteile Beanspruchungen bei Temperaturen ausgesetzt, die weit über oder unter der gewöhnlichen Temperatur liegen können, es braucht nur an Heißdampfleitungen, Feuerbuchsen, an Teile von Explosionsmotoren, oder um den entgegengesetzten Fall zu erwähnen, an Teile von Kältemaschinen erinnert zu werden.

Als Beispiel für die Aenderung der Bruchfestigkeit und Dehnung mit der Temperatur seien hier die Festigkeitszahlen einer von C. Bach[1]) bei höheren Wärmegraden geprüften Bronze mit 86,7% Kupfer, 8,8% Zinn, 3,95% Zink, 0,5% Blei angeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 21 graphisch aufgetragen. Die Festigkeit sinkt zunächst nur langsam ab, während die Dehnbarkeit sogar anfangs eine Steigerung erfährt. Von etwa 250 C ° an sinken Festigkeit und Dehnung schnell ab.[2])

3. Härte.

Insofern man Härte als das Maß des Widerstandes bezeichnet, welchen ein Körper dem Eindringen eines fremden Körpers (z. B. bei der Bearbeitung durch schneidende Werkzeuge) oder auch einer bleibenden Änderung in der Lage seiner kleinsten Teilchen (beim Schmieden, Pressen, Walzen, Ziehen) entgegensetzt, bildet sie eine besondere Art der Festigkeitseigenschaften, und wie die Festigkeit im allgemeinen wird die Härte der Metalle durch ihre Legierung mit anderen Körpern, selbst wenn diese weniger hart sein sollten als das ursprüngliche Metall, bis zu einem gewissen Grade gesteigert. Je härter aber ein Körper ist, desto geringer ist seine mechanische

---

[1]) C. Bach „Festigkeit von Bronzen bei höheren Wärmegraden", Mitt. Forsch.-Hefte, Heft 4, S. 1, 1902.

[2]) Weitere Beispiele über die Festigkeitsänderungen mit der Temperatur vergl. „Die Festigkeitseigenschaften der Metalle in Wärme und Kälte" von R. Baumann, Stuttgart 1907, Verlag A. Kröner.

„Der Einfluß erhöhter Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften der Metalle", Bericht von M. Rudeloff, Internationaler Verband für die Materialprüfungen der Technik, V. Kongreß in Kopenhagen 1909.

„Der Einfluß hoher Temperaturen auf die physikalischen Eigenschaften der Legierungen", Bericht von L. M. Bregowsky und L. W. Spring, VI. Kongreß in New-York.

Abnutzung bei dem Gebrauche; nicht selten ist jene durch Legierung erreichbare Härtesteigerung die eigentliche Veranlassung, statt des reinen Metalls dessen Legierung zur Herstellung dieses oder jenes Gebrauchsgegenstandes zu verwenden.

Nicht vollständig stimmen jedoch die Ansichten über das zuverlässigste Verfahren zur Ermittelung des Härtegrades überein. Früher bediente man sich vielfach eines spitzigen Werkzeuges, um damit unter bestimmter Belastung die Oberfläche des zu prüfenden Gegenstandes zu ritzen oder eine Vertiefung hervorzubringen; je weniger tief dieses Werkzeug eindringt, desto härter ist der betreffende Körper.

In neuerer Zeit kommen immer mehr Apparate in Aufnahme, bei denen unter einer bestimmten Last eine Kugel von bestimmtem Durchmesser in das Material eingedrückt wird. Je weicher die Probe, um so tiefer dringt die Kugel unter der gleichen Belastung ein (Verfahren nach Brinell).[1] Vielfach bestimmt man auch die Härte in der Weise, daß man eine Stahlkugel aus einer bestimmten Höhe auf die Probe auffallen läßt und die Höhe des Rücksprunges mißt (nach Shore).[2]

Die Steigerung der Härte eines weichen Metalles wie z. B. des Kupfers kann selbst durch Legierung mit einem noch weicheren z. B. mit Zinn, sehr bedeutend erhöht werden. Weniger bedeutend, doch immer noch beträchtlich, ist die durch Zinkzusatz bedingte Härtesteigerung des

---

1) „Ueber den Härteprüfer", Bauart Martens vergl. A. Martens und E. Heyn: „Vorrichtung zur vereinfachten Prüfung der Kugeldruckhärte und die damit erzielten Ergebnisse", Z. d. V. d. Ingenieure 1908, S. 1719.

2) Ueber einige Einwände gegen dieses Verfahren vergl. A. Martens u. E. Heyn, Materialienkunde II A von E. Heyn, Abs. 352. Verlag Julius Springer, Berlin 1912.

Kupfers. In Abb. 22 sind die nach dem Shore'schen Härteprüfungsverfahren gefundenen Härtezahlen für die Kupfer-Zinn-[1]) und Kupfer-Zinklegierungen[2]) graphisch aufgetragen. Das Maximum der Härte liegt bei den Kupfer-Zinnlegierungen bei etwa 30% Zinn, bei den Kupfer-Zinklegierungen bei etwa 60% Zink. Durch Zusatz von Zink

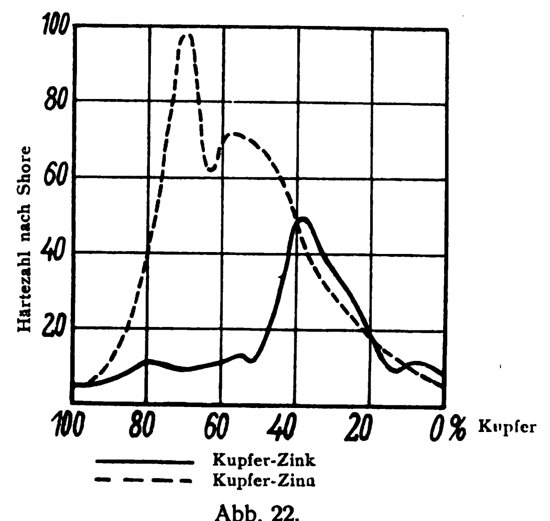


Abb. 22.
Härte der Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zink-Legierungen nach Shore.

zu Kupfer-Zinnlegierungen wird die Härte der Bronze etwas abgemindert.

Gold und Silber werden bedeutend härter durch Aufnahme von Kupfer. Münzen aus jenen Metallen, bei denen die Vermeidung der Abnutzung aus naheliegenden Grün-

[1]) Haughton u. Turner: „Volume changes in the Alloys of Copper with Tin. The Journal of the Institute of Metals, VI, 192, 1911.
[2]) Murray: The volume changes of brasses during solidification. The Journal of the Institute of Metals, 2, 101, 1909.

den von hoher Wichtigkeit ist, werden deshalb nicht aus den reinen Metallen, sondern aus ihren Legierungen mit Kupfer gefertigt. Karmarsch fand, daß die Abnutzung von Kupfersilberlegierungen mit 10 v. H. Kupfer nur etwa $^{8}/_{15}$ so bedeutend sei, als die des reinen Silbers.

Blei-Zinnlegierungen sind härter als jedes der beiden Einzelmetalle. Legierungen aus 70 Teilen Zinn und 30 Teilen Blei sind etwa zweimal so hart als reines Zinn.

Die Härte des Bleies erhöht man nicht selten durch Zusatz von Antimon (Hartblei). Eine Legierung mit 12% Antimon besitzt etwa die vierfache Härte des reinen Bleies, bei noch höheren Antimongehalten steigt sie allmählich bis zur hohen Härte des Antimons an.

Tabelle 6.

Metalle	Kugeldruckhärte P 0,05 kg	Zusammensetzung
Zinn	14	
Lagerweißmetall		83,1 % Sn, 11,1 % H, 5,4 % Cu
langsam abgekühlt . .	21	
schnell abgekühlt . .	26	
Aluminium	25	
Magnesium	26	
Antimon	27	
Feuerkistenkupfer		69,4 % Cu, 27,1 % Zn, 1,2 % Sn, 1,1 % Pb, 1,1 % Fe
bei 900 ° C geglüht . .	30	
bei 500 ° C geglüht . .	43	
Messing gegossen . . .	61	
Kupfer unmittelbar aus Feuerkiste entnommen .	81	
Lagerrotguß		83,6 % Cu, 16,0 % Sn, 0,2 % Zn, 0,2 % As, 0,07 % Pb
in Sand gegossen . .	83	
in Kokille gegossen . .	136	

In Tabelle 6 sind einige von A. Martens und E. Heyn[3]) veröffentlichte Angaben der Härte verschiedener Metalle und Legierungen zusammengestellt.[1])

4. Geschmeidigkeit.

Geschmeidigkeit (in etwas engerem Sinne auch Dehnbarkeit genannt) ist die Fähigkeit gewisser Körper, insbesondere Metalle, im ungeschmolzenen Zustande bleibende Formveränderungen unter der Einwirkung mechanischer Kräfte (Zug, Druck u. a. m.) zu erleiden. Sie ist der oben besprochenen Dehnbarkeit nahe verwandt, insofern man diese durch die vor dem Bruche eintretende bleibende Formveränderung mißt; für die Geschmeidigkeit ist stets ein gewisses Maß von Dehnbarkeit notwendig, denn jene bleibende Formveränderung wird erst möglich, nachdem die Elastizitätsgrenze überschritten worden ist. Je leichter hierbei ein Bruch stattfindet, desto weniger geschmeidig ist der Körper.

Bei Festigkeitsprüfungen pflegt man, wie auf Seite 44 erwähnt wurde, die Dehnbarkeit durch die Formveränderung zu messen, welche das Versuchsstück vor dem Eintreten des Bruchs erlitt (Verlängerung bei Zugfestigkeitsprüfungen, Zusammendrückung bei Druckfestigkeit usw.); die Geschmeidigkeit aber hängt außer von der Dehnbarkeit des Körpers noch von verschiedenen anderen Umständen ab. Zunächst kommt hierbei das Maß der Formveränderung in Betracht, welches ein Stoff überhaupt, ohne Bruch zu erleiden, ertragen kann, insbesondere die Kleinheit des Querschnitts, auf welche er sich ausstrecken

---

[3]) A. Martens u. E. Heyn, Z. d. V. d. Ingenieure, 1908, S. 1719.

[1]) Die Werte sind mittelst des Kugeldruckhärteprüfers Bauart Martens ermittelt.

oder ausziehen läßt. Gold und Silber gelten für die geschmeidigsten aller Metalle, und zwar vornehmlich deshalb, weil kein anderes Metall sich auf so dünne Querschnitte, wie sie Blattgold und Blattsilber besitzen, ausstrecken läßt. Außerdem aber spielt das Maß der mechanischen Arbeit eine Rolle, welche zur Ausführung einer bestimmten Formgebung erforderlich ist und zum Teile von der Streckgrenze des betreffenden Körpers abhängt. Je niedriger die Streckgrenze liegt, und je geringern Widerstand die Teilchen ihrer Verschiebung nach dem Überschreiten der Streckgrenze entgegen setzen, mit desto weniger Arbeitsaufwand läßt sich die Formveränderung vollbringen, als desto geschmeidiger erscheint der Körper. Je größer aber die Festigkeit ist, desto geringer ist die Gefahr, daß nach dem Ueberschreiten der Streckgrenze das Arbeitsstück Bruch erleide; in diesem Sinne ist auch der Abstand zwischen Streckgrenze und Festigkeit für das Maß der Geschmeidigkeit von Bedeutung. Auch die Temperatur, in welcher die Bearbeitung vorgenommen wird, spielt eine Rolle. Manche Metalle, die in gewöhnlicher Temperatur geringere Geschmeidigkeit besitzen, werden geschmeidiger durch Erhitzen (Eisen, Kupfer); andere verlieren dadurch an Geschmeidigkeit (Messing, Neusilber).

Wenn es hiernach unmöglich ist, eine für alle Fälle zutreffende Stufenleiter der Geschmeidigkeit der Metalle und Legierungen aufzustellen, so lehrt uns doch die Beobachtung, daß im Allgemeinen die reinsten Metalle die größte Geschmeidigkeit besitzen, und daß durch Legierung das Maß dieser Eigenschaft abgemindert, bisweilen fast auf Null zurückgeführt wird.

Verschiedene Körper üben in dieser Beziehung verschieden starke Einflüsse.

Die Geschmeidigkeit des Kupfers wird durch einige Hundertstel Blei in der Kälte erheblich (merklich schon durch 0,25 v. H.), noch bedeutender in der Wärme benachteiligt. Kupferlegierungen mit mehr als 6 v. H. Zinn haben in der Kälte ihre Geschmeidigkeit fast vollständig verloren, zeigen dagegen in der Wärme noch einen mäßigen Grad von Geschmeidigkeit, sofern ihr Zinngehalt nicht erheblich über 15 v. H. steigt. Wie aber das Zink die Festigkeit und Härte des Kupfers in weit unerheblicherem Maße als Zinn zu steigern vermag, ist auch seine Einwirkung auf die Geschmeidigkeit bedeutend geringer: Zinkkupferlegierungen mit gleichen Gewichtsmengen beider Metalle besitzen immerhin noch ein gewisses, wenn auch ziemlich niedriges Maß der Geschmeidigkeit.

Gold und Silber verlieren durch ihre Legierung mit Kupfer, ihrem üblichsten Zusatzmetalle, merklich an Zähigkeit und Geschmeidigkeit.

Nicht selten genügen schon sehr kleine Mengen fremder Körper, ein Metall für irgend eine Verarbeitung, welche ein hohes Maß von Geschmeidigkeit erheischt, unverwendbar zu machen, und die auf den Hüttenwerken angewendeten, oft recht umständlichen Läuterungsverfahren für die Metalle, durch welche sie von mitunter nur kleinen Mengen fremder Bestandteile befreit werden, sind vorzugsweise durch den Umstand begründet, daß die Geschmeidigkeit des darzustellenden Metalls auch durch die Anwesenheit jener kleinen Mengen von Fremdkörpern Einbuße erleidet.

Als ein besonders gefährlicher Feind der Geschmeidigkeit vieler Metalle — des Goldes, Silbers, Bleies,

Zinns, Kupfers u. a. m. — gilt das Wismut. 0,05 v. H. dieses Körpers genügen bei einzelnen jener Metalle, sie für Verwendungen, welche einen hohen Grad von Geschmeidigkeit bedingen, untauglich erscheinen zu lassen. Auch Antimon, Arsen können schon in kleinen Mengen nachteilig wirken.[1]) Die Geschmeidigkeit des Zinks wird insbesondere durch kleine Mengen Zinn abgemindert, und zwar soll schon ein Gehalt von 0,10 v. H. dieses Metalls einen merkbaren Einfluß hervorbringen.

Eine scheinbare Ausnahme von der Regel, nach welcher die reinen Metalle geschmeidiger sind als die legierten, tritt uns in denjenigen Fällen entgegen, wo durch aufgenommenen Sauerstoff die Geschmeidigkeit wie die Zähigkeit Einbuße erlitten hatten und durch Zusatz eines anderen Körpers die Ausscheidung dieses Sauerstoffgehalts bewirkt wird. So kann nach Charpys Versuchen die Geschmeidigkeit sauerstoffhaltigen Kupfers durch einen mäßigen Zusatz von Zink gesteigert werden, und ähnliche Fälle, die zum Teil noch bei den unter IV. gegebenen Beispielen Erwähnung finden werden, lassen sich mehrfach beobachten. Jeder, zu dem in Rede stehenden Zwecke (Desoxydation) nicht erforderliche Ueberschuß des Zusatzes aber schmälert die Geschmeidigkeit, statt sie zu erhöhen, in dem einen Falle mehr, in dem andern weniger.

5. Gießbarkeit.

Die Gießbarkeit, d. h. die Fähigkeit, sich im geschmolzenen Zustande in Formen gießen zu lassen und

---

[1]) Der Einfluß des Arsens in dieser Beziehung wird allerdings häufig überschätzt. Vergleiche hierüber Hampes Untersuchungen über den Einfluß des Arsens und Antimons auf die Geschmeidigkeit des Kupfers in der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preußischen Staate 1873, S. 218; 1874, S. 93; 1876, S. 6; ferner Chemikerzeitung 1892 No. 42; Steads Versuche über den Einfluß des Arsens auf Eisen: „Stahl und Eisen“ 1895, S. 653.

diese in allen ihren Teilen, auch solchen mit dünnen Querschnitten scharf auszufüllen, ist die wichtigste Eigenschaft in den zahlreichen Fällen, wo man durch Gießen eines Metalls Gebrauchsgegenstände darzustellen beabsichtigt; sie selbst hängt aber wiederum von mehreren anderen Eigenschaften ab.

a) Schmelztemperatur.

Je niedriger diese Schmelztemperatur ist, desto leichter gelingt es, den zu gießenden Körper in den flüssigen Zustand überzuführen, desto bequemer ist seine Benutzung zum Gießen[1]).

Durch Legierung wird die Schmelztemperatur der Metalle teils erniedrigt, teils erhöht.

Jetzt liegen für die meisten der technisch wichtigen Metalllegierungen die vollständigen Erstarrungsdiagramme[2]) vor. So manche unnütze Mühe und Arbeit wird dadurch der Praxis erspart. Ist dem Herausgeber der IV. Auflage dieses Buches doch aus seiner eigenen Praxis bekannt, wie sich ein Gießereimann die größte Mühe gab, eine gleichmäßige Blei-Aluminiumlegierung zu erschmelzen jedoch stets ohne Erfolg. Blei und Aluminium legieren sich nicht, sondern bilden im flüssigen Zustand und nach der Erstarrung Schichten übereinander. In einem anderen Falle sollte in einem Ofen, in dem sich eine Höchsttemperatur von etwa 1000 C ° erzielen ließ, eine Legierung von Cerium (Schmelztemperatur etwa 830 C °) und Zinn (Schmelztemperatur 232 C °) mit 40% Cerium erschmolzen

---

[1]) Unter Schmelztemperatur ist diejenige Temperatur verstanden, bei welcher sämtliche Bestandteile der Legierung wieder flüssig werden.

[2]) Ausführlicheres über Erstarrungsdiagramme vergl. E. Heyn und O. Bauer „Metallographie“ Bd. 2, Verlag Göscher, 1909.

werden. Das Cerium ließ sich unter einer Salzdecke gut einschmelzen, sobald aber das leichtflüssige Zinn hinzukam, wurde die Legierung dickflüssig; sie ließ sich trotz gesteigerter Ofenhitze bis zu etwa 1000 C ° nicht mehr vergießen. Die Erklärung hierfür gibt das Erstarrungsdiagramm (Vergl. Abb. 30). Cerium und Zinn bilden zwei chemische Verbindungen miteinander ($Ce_2 Sn_3$ und $Ce Sn_2$ deren Schmelz- und Erstarrungstemperatur über 1100 C ° liegen. Sobald das flüssige Zinn zu dem flüssigen Cerium hinzugegeben wurde, bildeten sich obige Verbindungen, die

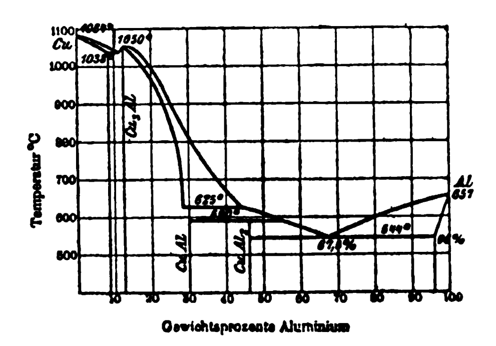


Abb. 23.
Aluminium-Kupfer.
Erstarrungskurve nach A. G. C. Gwyer, Ztschr. anorg. Ch. 57, 117; 1908.

alsdann als feste Körper zur Ausscheidung kamen und die Legierung dickflüssig und unvergießbar erscheinen ließen. Die Erstarrungsdiagramme einiger technisch wichtiger Legierungsreihen sind in den Abb. 23 bis 40 schaubildlich wiedergegeben.[1]) Die Diagramme für Gold-Platin (Abb. 5), Kupfer-Silber (Abb. 9) und Kupfer-Magnesium (Abb. 14) sind bereits früher mitgeteilt.

[1]) Die Abbildungen sind aus „Landolt Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen" entnommen. Verlag Julius Springer, Berlin 1912.

Durch Hinzutreten eines dritten oder vierten Metalles zu einer Legierung kann eine abermalige Erniedrigung der Schmelztemperatur herbeigeführt werden. Die wirklichen Schmelztemperaturen der Legierungen liegen demnach im allgemeinen

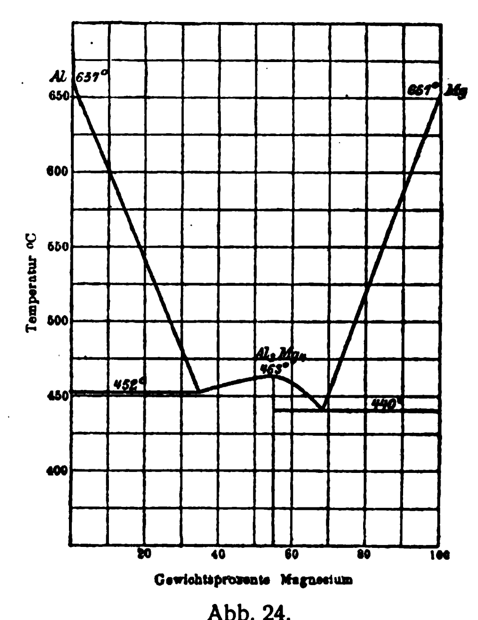


Abb. 24.
Aluminium-Magnesium.
Erstarrungskurve nach G. Grube, Ztschr. anorg. Ch. 45, 229; 1905.

um so tiefer je größer die Zahl der Körper ist, aus welchen die Legierungen bestehen. Man macht hiervon mitunter Anwendung, wenn die Aufgabe vorliegt, sehr leicht schmelzbare Legierungen darzustellen, und man ist imstande, durch Vereinigung mehrerer Metalle in entsprechenden Gewichtsmengen Le-

gierungen zu bilden, welche schon in siedendem Wasser schmelzen. In Tabelle 7 sind einige leichtflüssige Legierungen zusammengestellt.

Tabelle 7.
Leichtflüssige Legierungen.[1])

Kadmium . .	10,8	10,2	7,0	13,1	6,2	7,1	6,7 %
Zinn . . .	14,2	14,3	14,8	13,8	9,4	—	— %
Blei	24,9	25,1	26,0	24,3	34,4	39,7	43,4 %
Wismut . .	50,1	50,4	52,2	48,8	50,0	53,2	49,9 %
Erstarrungs-punkt . .	65,5° C	67,5° C	68,5° C	68,5° C	76,5° C	89,5° C	95° C
Spez. Gewicht	9,685	9,725	9,784	9,765	—	10,563	10,732

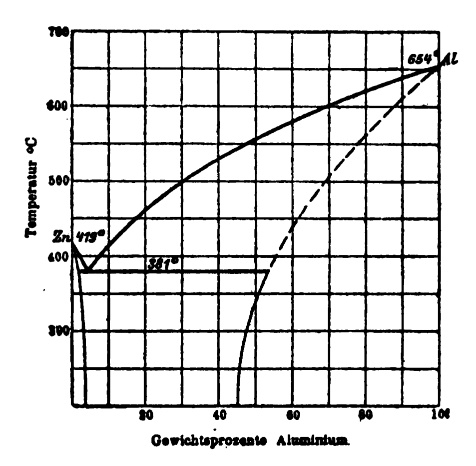


Abb. 25.
Aluminium - Zink.
Erstarrungskurve nach Heycock u. Neville, Chem. Sec. 71, 383; 1897.
Shepherd, Journ. of phys. Chem. 9, 504; 1903.

---

1) S. a. K. Heine „Ueber leichtflüssige Legierungen", ferner Chem. Ztg. 30, 1139; 1906.

Die unter der Bezeichnung „Rosesches Metall“ bekannte Legierung mit 8 Teilen Blei, 8 Teilen Wismut und 3 Teilen Zinn schmilzt bei 95 C °, während das „Woodsche Metall“ mit 8 Teilen Blei, 4 Teilen Zinn, 15 Teilen Wismut und 3 Teilen Kadmium bei 68 C ° flüssig wird.

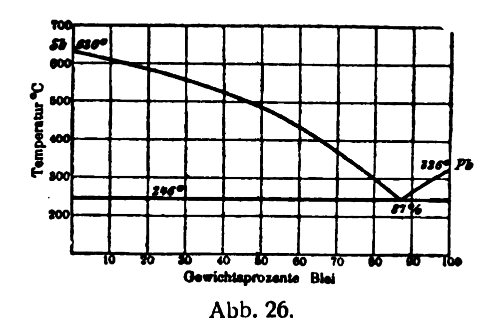


Abb. 26.

Antimon - Blei.
Erstarrungskurve nach W. Gontermann, Ztschr. anorg. Ch. 55, 421; 1907.

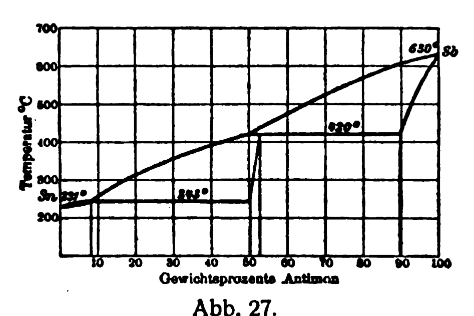


Abb. 27.

Antimon - Zinn.
Erstarrungskurve nach R. S. Williams, Ztschr. anorg. Ch. 55, 14; 1907.
Reinders, Ztschr. anorg. Ch. 25, 113; 1900.

b) Dünnflüssigkeit.

Neben der Schmelztemperatur ist auch der Grad der Dünnflüssigkeit eines geschmolzenen Metalls von Einfluß auf seine Gießbarkeit. Je dünnflüssiger es ist, desto

leichter und schärfer füllt es auch dünne Querschnitte der Gußformen aus. Zum Teil ist diese Dünnflüssigkeit allerdings abhängig von dem Grade der beim Schmelzen bewirkten Überhitzung über die Schmelztemperatur, und je tiefer letztere liegt, desto leichter ist demnach ein dünnflüssiger Zustand zu erzielen; aber auch, abgesehen hiervon, verhalten sich die Metalle und Legierungen nicht

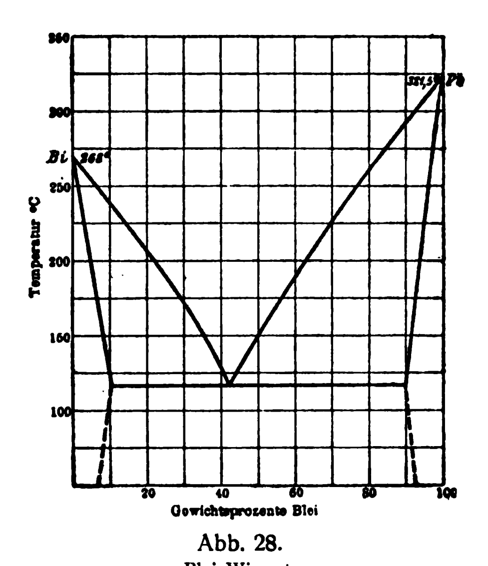


Abb. 28.

Blei-Wismut.

Erstarrungskurve nach A. Stoffel, Ztschr. anorg. Ch. 53, 150; 1907. A. W. Kapp, Diss. Königsberg 1901.

übereinstimmend. Wie Öl dickflüssiger ist als Wasser, auch wenn beide gleich stark über ihre Schmelztemperatur erwärmt werden, ist das eine Metall dickflüssiger als das andere.

Die reinen Metalle, die nur einen Erstarrungspunkt und nicht, wie die meisten Legierungen, ein Erstarrungs-

intervall, besitzen pflegen sich im Allgemeinen schwieriger vergießen zu lassen als die Legierungen. Die meisten Legierungen scheiden, wie wir sahen, während der Erstarrung zunächst einen Bestandteil aus der noch flüssigen Schmelze aus, letztere erstarrt schließlich bei einer, mitunter erheblich tiefer liegenden Temperatur, und hier-

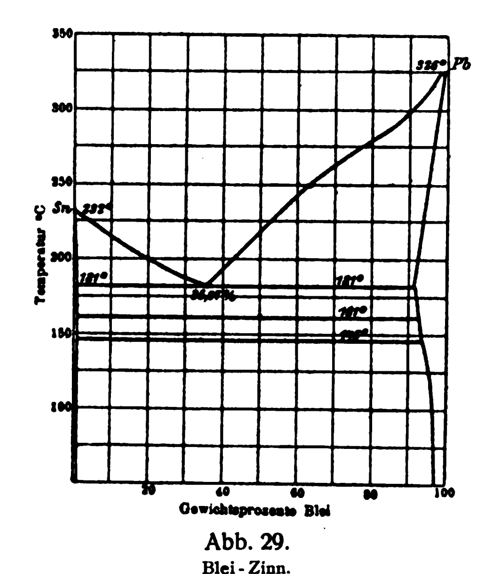


Abb. 29.
Blei - Zinn.
Erstarrungs- und Umwandlungskurve nach P. N. Degens, Ztschr. anorg. 63, 212; 1909.

mit steht dann jedenfalls die im Gießereibetriebe zu beobachtende Tatsache im nahen Zusammenhang, daß Legierungen dünnflüssiger erscheinen als unlegierte Metalle.

Einige Metalloide dagegen, insbesondere Sauerstoff und Schwefel, machen manche Metalle, von denen sie aufgenommen werden, dickflüssig. Sauerstoffhaltiges Kupfer

und sauerstoffhaltige Bronze[1]) sind dickflüssiger als sauerstofffreie, schwefelhaltiges Eisen dickflüssiger als schwefelfreies.

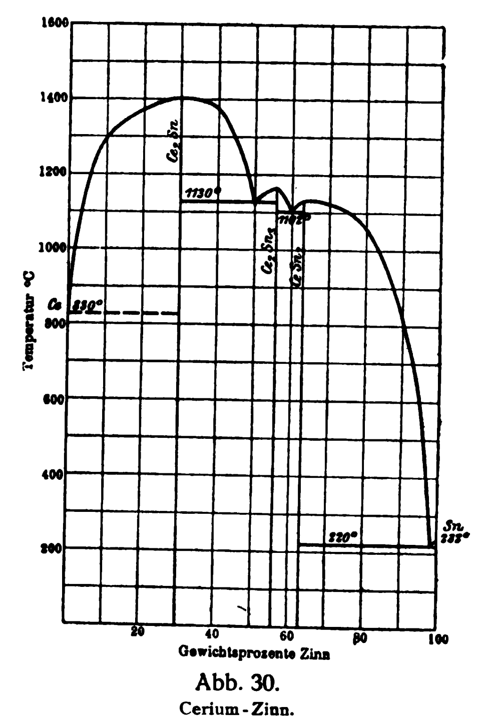


Abb. 30.
Cerium - Zinn.
Erstarrungskurve nach R. Vogel, Ztschr. anorg. Ch. 72, 325; 1911.

c) Entwickelung von Gasen.

Eine erhebliche Beeinträchtigung erfährt die Gießbarkeit eines Metalles, wenn

---

[1]) Vergl. z. B. E. Heyn u. O. Bauer „Kupfer, Zinn und Sauerstoff", Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß Lichterfelde W., 1909, S. 138.

dieses die Eigenschaft besitzt, im flüssigen Zustande Gase zu entwickeln. Findet diese Gasentwicklung statt, kurz bevor die Erstarrung eintritt, so können die Gase nicht mehr entweichen, und der

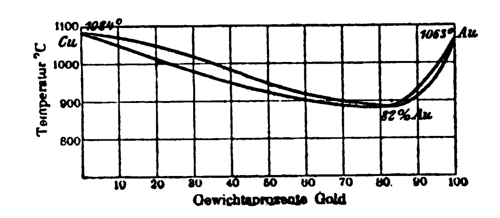


Abb. 31.
Gold-Kupfer.
Erstarrungskurve nach N. S. Kurnakow u. S. F. Žemčužny, Ztschr. anorg. Ch. 54, 164; 1907.

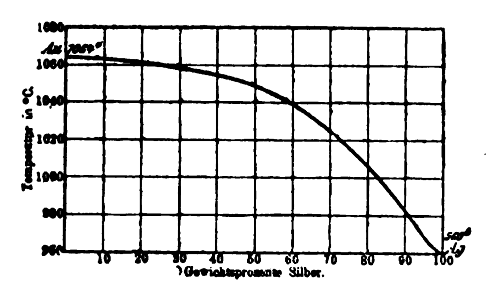


Abb. 32.
Gold-Silber.
Erstarrungskurve nach Roberts-Austen u. Kirke Rosen, Chem. News. 87, 2; 1903.

entstehende Abguß ist von den zurückgebliebenen Gasblasen durchsetzt; durchläuft aber das Metall, ehe es völlig starr wird, einen teigartigen Zustand, so bläht es sich unter dem Drucke der entstehenden Gase auf, spratzt,

wenn es mit freier Oberfläche erstarrt, und wird unfähig, irgend eine Gußform scharf auszufüllen. Da der Rauminhalt der Gase mit der Temperatur erheblich wächst[1],

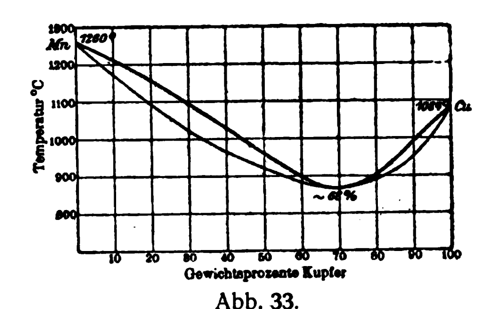


Abb. 33.

Kupfer-Mangan.

Erstarrungskurve nach Žemcšušny, G. Urasow u. A. Rykowskow, Ztschr. anorg. Ch. 57, 256; 1908. R. Sahmen, Ztschr. anorg. Ch. 57, 23; 1908.

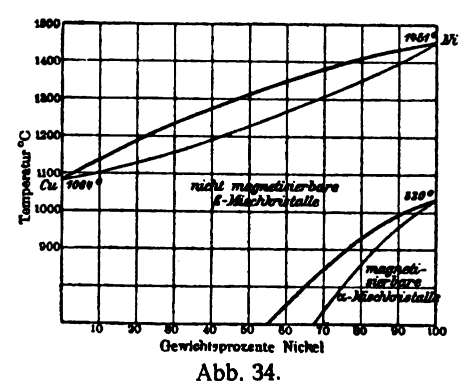


Abb. 34.

Kupfer-Nickel.

Erstarrungs- u. Umwandlungskurve nach W. Guertler u. G. Tammann, Ztschr. anorg. Ch. 52, 27; 1907. N. S. Kurnakow u. S. F. Žemcšušny, Ztschr. anorg. Ch. 54, 153; 1907.

---

[1]) Bei 600° C. nehmen die Gase ungefähr den dreifachen, bei 1084°, der Schmelztemperatur des Kupfers, fast den fünffachen Raum ein als in gewöhnlicher Temperatur.

macht sich dieser Vorgang bei strengflüssigen Metallen deutlicher bemerkbar als bei leichtflüssigen.

Die Ursachen dieser beim Gießen der Metalle häufig wahrnehmbaren Erscheinung können verschieden sein. Bisweilen sind es gelöst gewesene Gase, welche nun kurz vor dem Uebergange des Metalls in den festen Zustand ihre Gasform wieder annehmen. Verschiedene

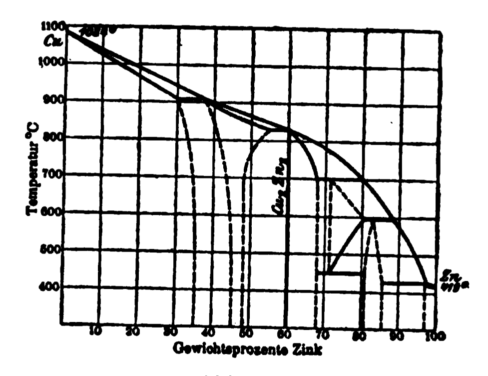


Abb. 35.

Kupfer - Zink.

Erstarrungskurve nach Shepherd, Journ. ph. Ch. 8, 421; 1904 u. Tafel, Metall. 5, 349; 1908.

Metalle lösen Wasserstoff und finden beim Schmelzen ausreichende Gelegenheit zu seiner Aufnahme, z. B. das Kupfer. Nach Versuchen von Sieverts[1]) wächst mit steigender Temperatur die Löslichkeit des Wasserstoffs für Kupfer. Um aber für den Guß ausreichende Dünnflüssigkeit zu erzielen, ist starke Ueberhitzung erforder-

---

[1]) „Ueber die Löslichkeit von Wasserstoff in Kupfer, Eisen und Nickel" ist von A. Sieverts eine wertvolle Arbeit in der Z. f. physikalische Chemie LXXVII, 1911, S. 591 erschienen.

lich, wodurch wieder die Menge des gelösten Wasserstoffs wächst. Aus obigen Gründen ist es in der Tat unmöglich, aus reinem Kupfer blasenfreie Gußstücke zu erzielen, so daß reines Kupfer (ohne Zusatz fremder Stoffe) aus der Reihe der zu Formgüssen verwendbaren Metalle ausscheidet. Auch Stickstoff kann in gewissen Mengen von flüssigen Metallen gelöst werden; einige, z. B. Silber, lösen

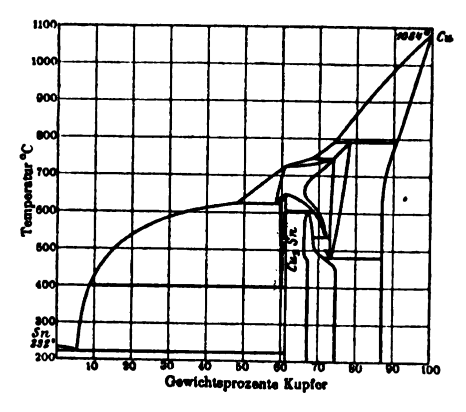


Abb. 36.

Kupfer-Zinn.

Erstarrungskurve nach Shepherd u. Blough, Journ. ph. Ch. 10, 630; 1906. Giolitti u. Pavanti, Gazz. chim. ital. 38 II, 209; 1908.

Sauerstoff, ohne eine engere chemische Verbindung mit ihm einzugehen.

Ob und in welcher Richtung durch Legierung der Metalle ihre Fähigkeit, Gase zu lösen, unmittelbar geändert werde, ist bislang nicht mit Sicherheit festgestellt worden; die Beobachtungen beim Gießen legen jedoch die Schlußfolgerung nahe, daß legierte Metalle im allgemeinen

geringere Fähigkeit, Gase zu lösen, besitzen als reine. Die Entwickelung gelöster Gase aber läßt sich mitunter hintertreiben, wenn man dem Metalle einen Zusatz gibt, welcher mit dem gelösten Gase eine nichtflüchtige und nicht wieder zerfallende Verbindung eingeht. So z. B. ruft der vom flüssigen Silber gelöste Sauerstoff, indem er

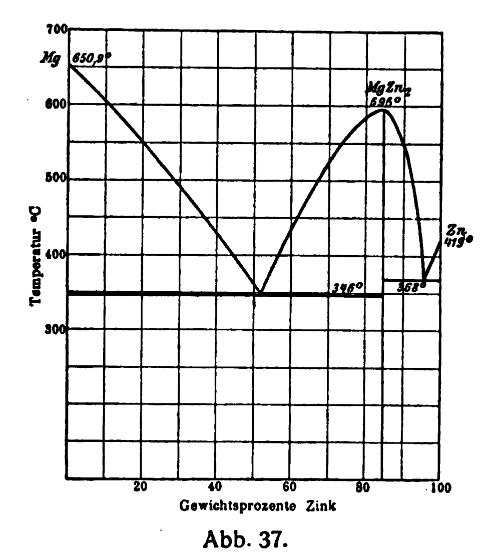


Abb. 37.

Magnesium - Zink.
Erstarrungskurve nach G. Grube, Ztschr. anorg. Ch. 49, 80; 1906.

kurz vor dem Erstarren mit Heftigkeit entweicht, oft ein starkes Spratzen hervor und macht in jedem Falle das Gießen reinen Silbers mißlich. Legiert man aber Kupfer mit dem Silber, so vereinigt sich ein entsprechender Teil davon mit dem aufgenommenen Sauerstoff zu Kupferoxydul, welches zwar im Metalle gelöst bleibt, ohne

weiteres aber nicht wieder zerfällt; die Gasentwicklung ist vermieden, sofern sie nicht durch noch andere Umstände veranlaßt wird. Je größer das Verhältnis des Kupfers zum Silber ist, desto vollständiger ist der Erfolg. Noch kräftiger

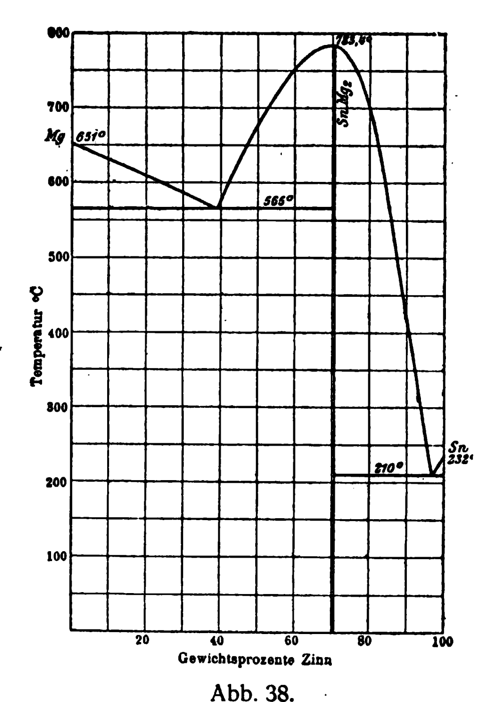


Abb. 38.

Magnesium - Zinn.

Erstarrungsdiagramm nach G. Grube, Ztschr. anorg. Ch. 46, 79; 1905. Kurnakow u. Stepanow, Ztschr. anorg. Ch. 46, 184; 1905.

als Kupfer wirkt Zink, dessen Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff stärker ist.

Nicht minder häufig aber entstammen die Gase einem chemischen Vorgange innerhalb des flüssigen Metalls

selbst, welcher erst ihre Bildung veranlaßte. Finden sich z. B. im Metalle neben gelösten Oxyden — oder unter Umständen neben Sauerstoff, welcher einfach gelöst war

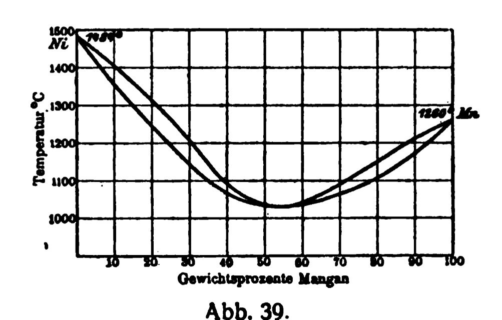


Abb. 39.
Mangan - Nickel.
Erstarrungskurve nach S. Žemczužny, G. Urasow u. A. Rykowskow Ztschr. anorg. Ch. 57, 263; 1908.

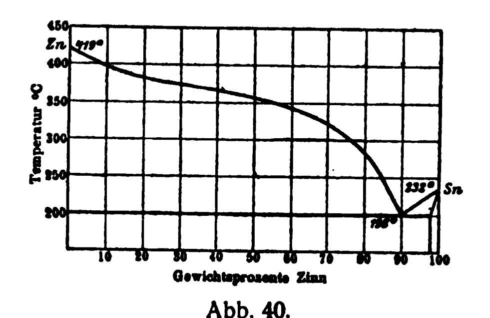


Abb. 40.
Zinn - Zink.
Erstarrungskurve nach Heycock u. Neville, Journ. chem. Soc. 71, 383; 4897. Arnemann, Metall. 7, 201; 1910.

— andere Stoffe, welche mit dem anwesenden Sauerstoff neue gasförmige Verbindungen eingehen, so muß durch diesen Vorgang Gasentwicklung hervorgerufen werden. Sie

geht rasch vonstatten, wenn der zweite sich mit dem Sauerstoff verbindende Körper ein sehr starkes Vereinigungsbestreben zu diesem besitzt und in großem Überschusse anwesend ist; sie verläuft allmählicher, wird aber gerade deshalb um so nachteiliger für die Gießarbeit, wenn die chemische Verwandtschaft jenes zweiten Körpers zum Sauerstoff nur wenig stärker ist, als die des Metalls, dessen Oxyd gelöst war, und wenn er in starker Verdünnung sich im Metallbade befindet. So z. B. enthält fast alles Handelskupfer neben gewissen Mengen Kupferoxydul kleine Mengen von Schwefelkupfer; beide Körper wirken auf einander, wobei gasförmige schweflige Säure entsteht. Das Schwefelkupfer aber befindet sich in starker Verdünnung im flüssigen Metalle, und die Einwirkung findet deshalb nicht plötzlich statt, sondern verläuft ganz allmählich; solcherart tritt eine unausgesetzte Gasentwickelung aus geschmolzenem Kupfer ein, welche dieses untauglich zur Herstellung von Gußstücken macht. Berechnet man, welchen Raum bestimmte Mengen schwefliger Säure in der Erstarrungstemperatur einnehmen, so wird man es erklärlich finden, daß schon ein scheinbar sehr geringer Schwefelgehalt imstande ist, deutliche Wirkungen hervorzurufen. Eisen, auch Nickel, sind stets kohlenstoffhaltig: findet sich neben dem Kohlenstoff Sauerstoff im Metalle, so wird durch die gegenseitige Einwirkung beider Kohlenoxydgasbildung hervorgerufen, welche ebenso, wie in jenem Falle die schweflige Säure, das Metall unbenutzbar für die Gießerei machen kann.

Legiert man in solchen Fällen das Metall mit einem Körper, welcher vermöge seiner stärkeren Verwandtschaft zum Sauerstoff diesen an sich zieht und dessen Oxyd entweder als unlöslich im Metallbade ausgeschieden wird,

oder wenigstens nicht mehr in der geschilderten Weise zerlegt wird, so muß die Gasentwickelung aufhören. Dieser Erfolg wird z. B. beim Kupfer durch einen Zinkzusatz erreicht; kräftiger noch wirken Aluminium, Phosphor oder Silicium. Beim Nickel erfüllt ebenfalls ein Zinkzusatz den Zweck, wirksamer noch ist Magnesium. Beim Eisen pflegt Magan für die Zerlegung des gelösten Eisenoxyduls benutzt zu werden; da aber das entstehende Manganoxydul selbst wieder durch den anwesenden Kohlenstoff beeinflußt wird, wenn auch langsamer, als das zuvor anwesende Eisenoxydul, ist der Erfolg nicht ganz vollkommen. Sicherer erreicht man das Ziel durch Aluminium, und in der Tat wird in der Jetztzeit ein reichlicher Teil des überhaupt gewonnenen Aluminiums für diesen Zweck benutzt; aber ein im Eisen zurückbleibender Überschuß des Aluminiumzusatzes macht dieses dickflüssig und verschlechtert auch sein mechanisches Verhalten, muß also vermieden werden.

Jedenfalls folgt aus dem Gesagten, daß dureh entsprechende Legierung eines Metalls, dessen Fähigkeit, im flüssigen Zustande Gase zu entwickeln, abgemindert oder ganz beseitigt werden kann.

d) Schwindung.

Wenn ein flüssiges Metall erstarrt, dehnt es sich, wie gefrierendes Wasser, zunächst aus und die Folge davon ist, daß das erstarrte Metall auf dem flüssigen schwimmt wie Eis auf dem Wasser. Dann aber folgt, mit der Abkühlung fortschreitend, eine Zusammenziehung, welche fast immer beträchtlicher ist als die vorausgegangene Ausdehnung; die Abmessungen des erkalteten, durch Gießen hergestellten Gegenstandes sind daher kleiner, als

die der Gußform, welche das flüssige Metall aufnahm. Diesen Vorgang nennt man die Schwindung, das Verhältnis, um welches die Abmessungen der Gußform größer genommen werden müssen als die des Abgusses, das Schwindmaß.

In verschiedener Hinsicht erschwert die Schwindung der Metalle die Erzielung brauchbarer Abgüsse, und je größer ihr Schwindmaß ist, desto deutlicher tritt diese Tatsache zu Tage. Besitzt ein Abguß an verschiedenen Stellen verschieden starke Querschnitte, welche nicht gleichzeitig erstarren und schwinden, so kann Spannung im Abgusse oder gar ein Riß entstehen;[1]) da aber, wo das Metall am längsten flüssig bleibt, also gewöhnlich in der Mitte des Abgusses, entsteht ein Hohlraum, welcher den Gegenstand völlig unbrauchbar machen kann. Daß beim Gießen seigernder Legierungen in diesem Hohlraume sich leicht Anhäufungen leichter schmelzbarer Legierungen bilden, wurde schon früher erwähnt.[2])

Ein Gesetz, nach welchem das Schwindmaß der Legierungen von dem der Einzelmetalle abzuleiten wäre. ist nicht erkennbar. Nicht selten schwinden die Legierungen stärker als jeder ihrer Beltandteile.

In Tabelle 8 ist das Gesamtgeschwindmaß einiger Metalle und Legierungen zusammengestellt[3]).

---

[1]) Ausführlicheres über Gußspannungen vergl. A. Martens u. E. Heyn: Materialienkunde II A von E. Heyn, Absatz 332, 333. Verlag Julius Springer, Berlin 1912.

[2]) Näheres über diese Vorgänge: Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Aufl., S. 78; ferner A. Martens, E. Heyn Materialienkunde II A von E. Heyn, Absatz 369.

[3]) Aus A. Martens u. E. Heyn Materialienkunde Teil II A von E. Heyn S. 458. Verlag Springer, Berlin 1912. Die Werte sind zum Teil der Arbeit von Wüst „Ueber die Schwindung der Metalle und Legierungen" entnommen. Metallurgie 1909, S. 769.

Tabelle 8.
Gesamtschwindmaß verschiedener Metalle und Legierungen.

Metalle und Legierungen	Lineares Schwindmaß E in %.
Blei (mit 1,27 % Zinn)	0,8[1])
Blei	1,1
Zink (mit 2,67 % Eisen)	1,4
Zink	0,7
Zinn (Bankazinn)	0,44
Aluminium (99,16 % Al, 0,33 % Fe)	1,8
Aluminium	1,8
Kupfer (99,16 % Cu, 0,35 % Fe)	1,4
Kupfer	1,25
Wismut (99,8 % Bi, 0,12 % Pb)	0,29
Antimon (97,6 % Sb, 0,34 % Sn, 1,3 % Fe, 0,56 % Cu)	0,29—0,66 schwankend
Blei-Zinn mit 18 % Zinn	0,56
70 % „	0,44
81 % „	0,50
Blei-Antimon mit 19 % Antimon	0,54
15 % „	0,56
Zinn-Zink mit 49 % Zink	0,50
14,5 % „	0,46
5 % „	0,49
Kupfer-Zink mit 16 % Zink	2,17
33 % „	1,62—1,97
36 % „	1,97
Kupfer-Zinn mit 5 % Zinn	1,7
10 % „	0,8—1,4
19 % „	1,5
Kupfer-Nickel-Zink mit 16 % Ni, 22 % Zn	2,02
20 % „ 23 % „	2,05
26 % „ 22 % „	2,03
36 % „ 18 % „	1,93

[1]) Wert unsicher, da Stab gelunkert.

Metalle und Legierungen	Lineares Schwindmaß E in %.
Kupfer-Zinn-Zink-Blei 3 % Sn, 8 % Zn, 2 % Pb	1,76
17,5 % „ 1,5 % „ — „	1,50
9,5 % „ 1,5 % „ — „	1,47
9,8 % „ 2 % „ 1,4 % „	1,47
6 % „ 12 % „ — „	1,30
Zink-Zinn-Kupfer mit 14,5 % Sn, 4,3 % Cu, 1,7 % Pb	1,02
46,0 % „ 2 % „ 1 % „	0,73
Weißmetall mit	
— Sn, 79 % Pb, 12,5 % Sb, 8,5 % Cu . .	0,55
20 % „ 59 % „ 21 % „ — „ . .	0,49
85,5 % „ — „ 9,5 % „ 5 % „ . .	0,51
90 % „ — „ 8 % „ 2 % „ . .	0,55
71 % „ 9 % „ 15 % „ 5 % „ . .	0,42
Aluminiumbronze	1,65

6. Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität.

Bekanntlich sind gute Leiter für Wärme in der Regel auch gute Leiter für die Elektrizität und umgekehrt. Silber gilt unter den Metallen als der beste Leiter für Wärme und Elcktrizität; an dieses reiht sich das reine Kupfer, dann das Gold, Aluminium, Magnesium, Zink, Kadmium, Nickel, Zinn, Platin, Blei, Antimon, Quecksilber, Wismut.

Aus angestellten Versuchen wie aus Beobachtungen bei der Benutzung der Metalle ergibt sich nun, daß die reinsten Metalle durchweg die besten Leiter sind, durch Legierung fast immer das Leitungsvermögen geschmälert wird.

Als die einzigen Metalle, deren Leitungsvermögen für Elektrizität, wenn sie unter einander legiert werden, nicht wesentlich abnimmt, sondern dem durch Rechnung sich

ergebenden Leitvermögen entspricht, bezeichnet Matthiessen[1]) Blei, Zinn, Kadmium, Zink; mit anderen Metallen legiert vermindern jedoch auch diese deren Leitungsfähigkeit.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß zwischen elektrischer Leitungsfähigkeit und Konstitution der Legierungen ein inniger, gesetzmäßiger Zusammenhang besteht.

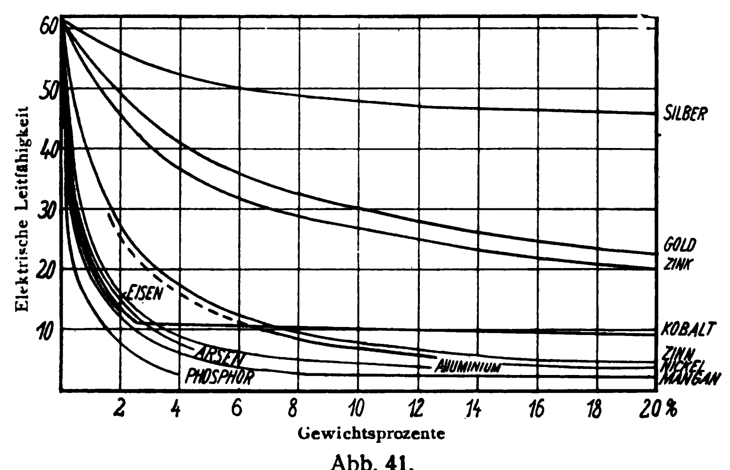


Abb. 41.
Elektrische Leitfähigkeit von Kupfer mit verschiedenen Zusätzen (Kupfer 62 × 10'').

Schon Le Chatelier[2]) vermutete, daß die elektrische Leitfähigkeit solcher Legierungen, die bei gewöhnlicher Temperatur einfache Gemenge der sie aufbauenden Metalle darstellen mit der nach der Mischungsregel berechneten übereinstimmen müsse, daß aber in allen den Fällen, in denen der gefundene Wert unter dem nach obiger Regel

---

[1]) Poggendorffs Annalen, Bd. 110, S. 190.
[2]) Rev. gén. d. sciences 6, 529, 1895.

berechneten liegt, Mischkristallbildung vorhanden sein muß.

Zahlreiche Versuche haben auch tatsächlich ergeben, daß die Leitfähigkeit reiner Metalle schon durch verhältnismäßig sehr kleine Mengen fremder Stoffe stark vermindert wird, wenn diese Stoffe mit ihnen Mischkristalle bilden.

Guertler gibt in seiner Arbeit „Über die elektrische Leitfähigkeit der Legierungen. I. Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Konstitution"[1]) zahlreiche Beispiele für obiges Gesetz.

Abb. 41 ist der Arbeit von Guertler entnommen. Sie zeigt deutlich die starke Beeinflussung der elektrischen Leitfähigkeit des Kupfers durch verschiedene Zusätze. Am kräftigsten wirkt Phosphor und am schwächsten Silber. Wie schon erwähnt, ist Silber allein ein besserer Leiter für Elektrizität als Kupfer.

Es zeigt sich aber hier, daß, ähnlich dem Einflusse der Legierung auf andere Eigenschaften, selbst durch Zusatz eines guten Leiters zu einem weniger guten die Leitungsfähigkeit des letzteren noch abgemindert werden kann.

In jenen schon mehrfach erwähnten Fällen, wo ein Metall sein eigenes Oxyd gelöst enthält, vermag auch dieses wie ein anderer legierter Körper die Leitungsfähigkeit zu beeinträchtigen. Matthiessen und Holtzmann[2]) fanden, daß Kupfer, welches an der Luft geschmolzen und dadurch sauerstoffhaltig geworden war, die Elektrizität nur in dem Verhältnisse $\frac{63,37}{93,00}$ im Ver-

[1]) Z. f. anorg. Chemie, 51, 397.
[2]) Glasers Annalen, Bd. 16, S. 33.

gleiche mit solchem leitete, dessen Oxydgehalt man durch Einwirkung von Wasserstoffgas zerstört hatte. Entfernt man nun den Sauerstoffgehalt eines solchen Metalls in der schon besprochenen Weise, d. h. durch Zusatz eines Körpers, welcher vermöge seiner stärkeren Verwandtschaft zum Sauerstoff sich mit diesem vereinigt und dessen Oxyd unlöslich im Metallbade ist, so würde vielleicht solcherart eine Erhöhung der Leitungsfähigkeit erzielt werden können. Ohne einen gewissen Überschuß des Zusatzes aber ist eine vollständige Sauerstoffausscheidung kaum möglich, und hier liegt dann die Gefahr nahe, daß jener Überschuß ebenso nachteilig oder noch nachteiliger wirke, als das vorher anwesende Oxyd. Ein Phosphorzusatz zum Kupfer zur Erzielung einer höheren Leitungsfähigkeit durch Zerstörung des anwesenden Kupferoxyduls würde z. B. kaum einen Erfolg haben können, da schon kleine Mengen überflüssigen Phosphors die Leitungsfähigkeit stark abmindern, wie aus Abb. 41 sich ergibt. Auch ein Zusatz von Silizium, welches neuerdings mehrfach bei Herstellung von Leitungsdrähten angewendet worden ist, verringert, wie aus Hampes[1]) Ermittelungen hervorgeht, erheblich deren Leitungsfähigkeit und der eigentliche Zweck des Zusatzes liegt in der Erhöhung der Festigkeit des Drahtes. Die Aufgabe, einen für jenen Zweck durchaus geeigneten, die Leitungsfähigkeit nicht schädigenden Zusatz zu finden, ist demnach noch nicht gelöst.

7. Dichtigkeit (spezifisches Gewicht).

Das aus den spezifischen Gewichten der Einzelbestandteile von Legierungen berechnete spezifische Gewicht stimmt nur in einzelnen Fällen mit ihrem wirklichen spezi-

[1]) Chem. Ztg. 1892, No. 42.

fischen Gewichte überein. Bisweilen ist das wirkliche spezifische Gewicht kleiner, als das berechnete: bei der Legierung hat Ausdehnung stattgefunden. Häufiger noch ist es größer als die Rechnung ergibt: Verdichtung ist eingetreten. Nicht selten besitzt eine Legierung ein größeres spezifisches Gewicht als jeder ihrer Einzelbestandteile. Umfassende Untersuchungen über die spezifischen Gewichte der Legierungen sind von Matthiessen und Holtzmann[1]), Riche[2]), Calvert und Johnson[3]), Thurston[4]), Karmarsch[5]) angestellt worden.

Ausdehnung, d. h. Verringerung des spezifischen Gewichts, ist beobachtet worden bei den Kupfersilberlegierungen, Bleisilberlegierungen mit weniger als 30 v. H. Silber, Zinnantimolegierungen, Bleiantimonlegierungen; Verdichtung bei den Legierungen des Kupfers mit Zinn, des Kupfers mit Zink bei einem Zinkgehalte zwischen 35 und 80 v. H., des Bleies mit Gold, des Zinns mit Silber u. a. m. Als Beispiel einer besonders starken Verdichtung kann die Zinnkupferlegierung mit 38 v. H. Zinn dienen; ihre spezifisches Gewicht ist 8,91, während das des Kupfers nur zu 8,89, das des Zinns zu 7,31 gefunden wurde.

Auch die Vorbehandlung hat auf das spezifische Gewicht der Metalle und Legierungen Einfluß. Durch Kaltziehen wird es verringert, durch Ausglühen vorher kaltgereckter Stoffe tritt wieder Erhöhung ein[6]).

---

1) Poggendorffs Annalen, Bd. 110, S. 21.
2) Dinglers Polyt. Journal Bd. 170, S. 113, Bd. 213, S. 150, Bd. 214, S. 153.
3) Liebigs Jahresbericht 1859, S. 20.
4) Report on a preliminary investigation of the properties of the copper-tin-alloys, S. 370.
5) Dinglers Polyt. Journal, Bd. 226, S. 335.
6) Vergl. auch E. Heyn u. O. Bauer „Ueber Spannungen in kaltgereckten Metallen“, Int. Z. f. Metallographie I, 1911, S. 16.

Eine besondere Bedeutung für die Technik besitzt dieses Verhalten der Legierungen nicht.

Die Kenntnis der spezifischen Gewichte der Metalle selbst ist insofern für den Metallgießer von Wichtigkeit, als Legierungen aus einem spez. leichten und einem spez. schweren Metall viel leichter zu Seigerungserscheinungen neigen, als wenn beide Körper annähernd gleiches spezifisches Gewicht besitzen. So machen sich z. B. bei Blei-Antimonlegierungen Seigerungserscheinungen in sehr störender Weise bemerkbar. (Vergl. auch S. 22.) Die spezifischen Gewichte der wichtigsten Metalle sind:

	Spez. Gew.		Spez. Gew
Magnesium	1,7	Kupfer	8,9
Aluminium	2,7	Wismut	9,8
Antimon	6,6	Silber	10,5
Zink	7,1	Blei	11,3
Zinn	7,3	Quecksilber	13,6
Eisen	7,8	Gold	19,2
Nickel	8,8	Platin	21,4

8. Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse.

Gegen die Einwirkungen der Atmosphärilien, des Schwefelwasserstoffes, welcher in der Luft bewohnter Orte in kleinen Mengen stets gefunden werden kann, saurer oder alkalischer Flüssigkeiten, welche zu Zwecken des Haushalts oder der Gewerbe dienen und nicht selten in metallenen Gefäßen bereitet oder aufbewahrt werden müssen, und zahlreicher anderer chemisch tätiger Körper zeigen bekanntlich die verschiedenen Metalle ein sehr abweichendes Verhalten. Einzelne werden mit Leichtigkeit verändert, d. h. sie gehen chemische Verbindungen ein, und die aus ihnen gefertigten Gebrauchsgegenstände

werden dadurch zerstört oder verlieren wenigstens an schönem Aussehen; andere, insbesondere die meisten Edelmetalle, zeigen große Widerstandsfähigkeit. Nicht selten nun läßt sich beobachten, daß ein bestimmten Einflüssen gegenüber wenig widerstandsfähiges Metall an Widerstandsfähigkeit zunimmt, wenn es mit einem andern legiert wird, selbst wenn dieses in reinem Zustande auch nur geringe Widerstandskraft besitzen sollte; in anderen Fällen tritt das Gegenteil ein: Metalle, welche wenig zugänglich für bestimmte Einflüsse sind, verlieren an Widerstandskraft, wenn sie legiert werden.

So z. B. werden manche Zinnkupferlegierungen von Salpetersäure weniger als reines Kupfer angegriffen[1]); gewisse Zinkkupferlegierungen sollen der Einwirkung von Salpetersäure oder von Seewasser gegenüber widerstandsfähiger sein als reines Kupfer, obwohl das Zink an und für sich mit Leichtigkeit gelöst oder angeriffen wird[2]), und durch einen Zusatz von Nickel zu den Zinkkupferlegierungen wird deren Widerstandsfähigkeit gegen Seewasser noch erhöht[3]); andererseits hat man die Beobachtung gemacht, daß platinhaltiges Blei, obgleich das reine Platin allen chemischen Einflüssen bekanntlich in sehr bedeutendem Maße widersteht, unter dem Einflusse der Luft rascher oxydiert als reines Blei[4]), und ähnliche Fälle sind nicht selten. Im letzten Abschnitte wird bei Besprechung einzelner gewerblich verwendeter Legierungen, deren Verhalten gegen bestimmte chemische Ein-

---

[1]) Ueber das Verhalten der Zinnkupferlegierungen gegen Seewasser vergl. „Stahl und Eisen" 1899, S. 170, 224.

[2]) Journal of the Chemical Society Bd. 19, S. 483; Dinglers Polyt. Journal Bd. 180, S. 301.

[3]) „Stahl und Eisen" 1904, S. 567 (Diegel).

[4]) Comptes rendus Bd. 64, S. 1098.

flüsse genauer untersucht worden ist, hiervon ausführlicher die Rede sein.

9. Farbe.

Wie die meisten anderen Eigenschaften der Legierungen mehr oder minder stark von denen ihrer Bestandteile abweichen, zeigt sich auch, daß ihre Farbe keineswegs stets eine Mischfarbe aus den Farben der Einzelmetalle ist, sondern häufig ganz selbständig auftritt. Allerdings läßt sich bei der Legierung weißer oder grauer Metalle mit einander diese Tatsache nicht oder nur undeutlich beobachten: stets entstehen wieder weiße oder graue Legierungen. Am deutlichsten zeigt sie sich bei der Legierung des rot gefärbten Kupfers mit weißen oder grauen Metallen, insbesondere mit dem weißgrauen Zink. Während die Mischfarbe von rot und weiß stets nur hellrot oder rötlichweiß sein kann, entstehen hier rein gelbe bis goldgelbe Farbentöne. Besondere Beachtung verdient auch der Umstand, daß in diesen Fällen die Zunahme des heller gefärbten Bestandteils der Legierung keineswegs immer ein gleichmäßiges Lichterwerden der Farbe zur Folge hat; sie verändert sich vielmehr sprungweise, und einzelne Legierungen mit größeren Mengen des helleren Bestandteils zeigen mitunter eine dunklere Farbe als andere, in denen der dunkler gefärbte Bestandteil (das Kupfer) vorwiegt. Während z. B. eine Zinkkupferlegierung mit 25 v. H. Zink eine ziemlich hellgelbe Farbe besitzt, zeigen die Legierungen mit 40 bis 50 v. H. Zink einen goldähnlichen Farbenton, der aber rasch ins Graue übergeht, wenn der Zinkgehalt 50 v. H. übersteigt. Ähnliche Erscheinungen lassen sich bei den Zinnkupferlegierungen beobachten.

Es möge jedoch hier erwähnt werden, daß auch die Farbe einer und der nämlichen Legierung dem Auge oft ganz anders erscheint, wenn man eine durch Befeilen, Schleifen oder dergleichen bearbeitete Oberfläche, als wenn man die frische Bruchfläche betrachtet. Eine auf dem Bruche graue Legierung nimmt nicht selten, wenn man sie bearbeitet, eine gelbliche oder auch deutlich gelbe Farbe an. Für den Vergleich der Farbentöne verschiedener Legierungen ist es deshalb erforderlich, daß die Bearbeitung die gleiche gewesen sei.

Durch Zusatz eines dritten Metalls zu einer, zwei Bestandteile enthaltenden Legierung lassen sich bisweilen neue selbständige Farbentöne hervorbringen.

Nur zwei Metalle, das Kupfer und das Gold, besitzen im nichtlegierten Zustande andere als weiße oder graue Farbe. Im allgemeinen entstehen aus der Legierung des Kupfers mit Gold rotgelbe, des Kupfers mit weißen oder grauen Metallen rötliche, gelbe oder graue, des Goldes mit weißen oder grauen Metallen hellgelbe, grünliche oder weiße Farbentöne.

Die färbende Kraft verschiedener Metalle in ihren Legierungen weicht jedoch sehr ab; d. h. von einigen Metallen, welche eine größere färbende Kraft besitzen, als andere, genügen geringere Mengen, um die Farbe dieser letzteren, wenn sie mit jenen legiert werden, zu verändern oder ganz zum Verschwinden zu bringen. Von der färbenden Kraft der vorzugsweise häufig zu Legierungen benutzten Metalle gibt folgende Stufenleiter ein ungefähres Bild:

Zinn, Nickel, Aluminium	Eisen
Mangan	Kupfer

Zink	Silber
Blei	Gold.
Platin	

Jedes in dieser Reihe einem anderen voranstehende Metall beeinflußt stärker als dieses die Farbe, so daß die Farbe der letzten Glieder der Reihe schon durch verhältnismäßig kleine Mengen der ersten Glieder verdeckt wird.

Als ein Beispiel dieser Art, welches wir täglich vor Augen haben, können unsere Nickelmünzen dienen, aus drei Teilen des roten Kupfers mit nur einem Teile des weißlichen, in dem ersten Gliede der obigen Reihe stehenden Nickels bestehend; die verhältnismäßig kleine Menge des Nickels hat ausgereicht, die rote Kupferfarbe vollständig zu vernichten.

Den Unterschied in der färbenden Kraft des Zinns und Zinks zeigen ebenfalls die Legierungen des Kupfers mit beiden Metallen. Bei 25. v. H. Zinn ist die Legierung noch graugelb, bei 30. v. H. fast weiß; mit nahe an 50 v. H. Zink dagegen, wie schon oben erwähnt wurde, noch hochgelb.

Die schöne Farbe des Goldes wird bei der Legierung mit der dreifachen Menge Kupfer vollständig verdeckt, und die Legierung besitzt bei diesem Verhältnisse fast die Farbe des reinen Kupfers; Goldsilberlegierungen sind vollständig weiß, wenn der Goldgehalt weniger als 30 v. H. beträgt, grüngelb bei etwa 65 v. H. Gold.

Bei der Verwendung der Legierungen für Gegenstände, deren Farbe für ihren Zweck nicht ohne Belang ist — Schmucksachen und kunstgewerbliche Erzeugnisse — verdient diese Beeinflussung der Farbe der Metalle durch Legierung alle Beachtung.

III. Darstellung der Legierungen.

Die älteste Darstellungsweise der Legierungen ist die gemeinschaftliche Abscheidung der Metalle aus Erzen, in denen sie neben einander vorkamen. Man wußte in früheren Jahrhunderten gewöhnlich gar nicht, daß man hierbei nicht Einzelmetalle, sondern Legierungen erzeugte, und geheimnisvollen Kräften schrieb man das abweichende Verhalten dieser Erzeugnisse zu.

Noch jetzt ist man nicht selten gezwungen, in solcher Weise Legierungen darzustellen, wenn die in den Erzen neben einander auftretenden Metalle sich vor der Verhüttung nicht scheiden lassen; aber die in diesen Fällen gewonnenen Legierungen sind häufig nur Zwischenerzeugnisse, aus welchen nun durch fernere hüttenmännische Arbeiten die Einzelbestandteile abgeschieden werden. So z. B. erfolgt beim Schmelzen von Bleierzen im Schachtofen gewöhnlich zunächst eine Legierung, welche außer Blei kleinere oder größere Mengen von Antimon, Arsen, Zinn, Wismut, Kupfer, Silber, Gold und anderen Körpern enthalten kann; sie wird einer ferneren Verarbeitung unterzogen. Als Nebenerzeugnis bei dieser ferneren Verarbeitung entsteht nun mitunter abermals eine von den genannten wertvolleren Metallen freie Legierung von Blei und Antimon, welche, da ihre Scheidung nicht lohnend sein

würde, ohne Weiteres für gewerbliche Zwecke benutzt wird.

Der Regel nach erzeugt man jedoch in der Jetztzeit die Legierungen, indem man ihre Bestandteile in den entsprechenden Gewichtsverhältnissen durch Schmelzen vereinigt, und schon bei den Kulturvölkern der alten Zeit, z. B. den Griechen, finden wir dieses Verfahren in Anwendung, um ein für gewisse Zwecke geeigneteres Material zu gewinnen. Das Verfahren ermöglicht eine weit vielseitigere Zusammensetzung der Legierungen und außerdem eine genauere Regelung dieser Zusammensetzung, als jene unmittelbare Gewinnung aus Erzen.

Für das erforderliche Schmelzen werden Vorrichtungen verschiedener Art benutzt.[1])

Man bedient sich eines eisernen Kessels, wenn Legierungen mit niedriger Schmelztemperatur geschmolzen werden sollen, insbesondere solche des Bleies mit Zinn oder der Legierungen dieser Metalle mit Antimon. Die Heizung der Schmelzkessel geschieht wie die der gewöhnlichen, zum Kochen dienenden Kessel durch festen Brennstoff oder bei kleineren Betrieben auch wohl durch Leuchtgas.

Für Legierungen mit höherer Schmelztemperatur tritt an die Stelle des Kessels der Tiegel. Tiegel sind kostspieliger als die Kessel, zumal da sie einer weit häufigeren Erneuerung als diese bedürfen, aber sie sind unentbehrlich zum Schmelzen von Legierungen mit höherer Schmelztemperatur, z. B. der Legierungen des Kupfers, Nickels, Silbers, Goldes, und bilden deshalb die zum Schmelzen

---

[1]) Näheres über das Schmelzen und die dafür erforderlichen Vorrichtungen: Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Aufl., S. 179.

der Legierungen am häufigsten benutzte Vorrichtung. In den meisten Fällen werden die Tiegel aus feuerfestem Ton mit Graphitzusatz gefertigt. Der Graphit erhöht die Feuerbeständigkeit, verhindert das Reißen der Tiegel beim Brennen und erschwert den Eintritt oxydierender Feuerungsgase durch die glühenden Wände. Die Erhitzung der Tiegel geschieht in der Regel in einem mit Koks geheizten Ofen.[1] Vorsichtiges Anwärmen der Tiegel ist stets zu empfehlen, um dem Springen infolge ungleichmäßiger und zu plötzlicher Erhitzung vorzubeugen. Früher geschah die Entleerung der Tiegel ganz allgemein und jetzt geschieht sie noch häufig in der Weise, daß man den Tiegel mit einer Zange erfaßt, um ihn aus dem Ofen zu heben und dann durch Kippen auszugießen. Da hierbei die Gefahr des Zerbrechens eines Tiegels mit seinem Gewichte zunimmt, gibt man den Tiegeln selten einen größeren Fassungsraum als etwa 50 kg und wenn größere Schmelzen ausgeführt werden sollen, müssen deshalb mehrere Tiegel eingesetzt und ihr Inhalt nach dem Schmelzen vereinigt werden. Das Verfahren hat indessen mehrere Übelstände; gut bewährt haben sich deshalb die für solche Fälle in der Neuzeit eingeführten Öfen, bei welchen der Tiegel im Ofen feststeht und der ganze, mit Eisenblechmantel und Drehungszapfen versehene Ofen zum Zwecke der Entleerung des Tiegels mit Hilfe einer mechanischen Vorrichtung gekippt wird (Öfen von Piat, Baumann u. a.). Den Tiegeln dieser Öfen gibt man einen Fassungsraum bis zu 500 kg.

---

[1]) Holzkohlen geben bei ihrer Verbrennung größere Mengen von Kohlenoxyd statt Kohlendioxyd als Koks, so daß zur Entwickelung der erforderlichen Wärmemenge ein größerer Aufwand davon erforderlich wird.

Im Großbetriebe bedient man sich zum Erhitzen der Tiegel bisweilen auch eines Flammofens, in welchem eine größere Anzahl auf dem flachen Herde des Ofens stehender Tiegel durch die vorüberziehende Flamme des mit flammendem Brennstoff oder mit Gasen geheizten Ofens bestrichen wird (Tiegelflammofen). Die Entleerung der Tiegel erfolgt hierbei wie in dem zuerst besprochenen Falle mit Hilfe von Zangen.

In neuerer Zeit wird auch die Elektrizität zum Schmelzen von Metallen und Legierungen verwendet[1]). Der elektrische Transformator-Tiegel-Schmelzofen nach Helberger beruht auf dem Prinzip der elektrischen Widerstandserhitzung, wobei als Widerstand der Tiegel selbst dient. Zur Verwendung gelangen Graphit- und Kohletiegel, wenn erforderlich mit Chamotte-Auskleidung. In dem Ofen lassen sich leicht Temperaturen bis zu 2000° C. erzielen, so daß er sich auch zum Schmelzen schwer schmelzbarer Legierungen eignet. Der Ofen wird kippbar oder feststehend gebaut.

Wo jedoch sehr bedeutende Mengen einer Legierung in einem Male geschmolzen werden sollen und eine Schädigung der Beschaffenheit der Legierung durch die Berührung mit den Verbrennungsgasen nicht zu befürchten ist, benutzt man Flammöfen, auf deren muldenförmigem Herde das Metall unmittelbar durch die vorüberziehende Flamme geschmolzen wird, um dann durch die mit einem Tonpfropfen geschlossene Stichöffnung abgelasen zu werden. Der Fall kommt vornehmlich in Bronzegießereien

---

[1]) Von der Beschreibung der elektrischen Oefen zur Eisen- und Stahlerzeugung möge hier abgesehen werden, da das vorliegende Büchlein sich in erster Linie an das Metallgewerbe außerhalb der Eisen- und Stahlindustrie wendet.

vor, welche Glocken, Standbilder oder sonstige große Gegenstände gießen. Als Brennstoff benutzt man hierbei mit Vorliebe Holz, um nicht durch Schwefelgehalt der mineralischen Kohlen, welcher aus den Gasen an das Metall übergehen könnte, dessen Beschaffenheit zu schädigen.

Schachtöfen, in welchen das Metall unmittelbar mit Koks oder Holzkohlen geschmolzen wird und demnach mit dem Brennstoffe wie mit der Verbrennungsluft in unmittelbare Berührung tritt (Kupolöfen), finden zwar in Eisengießereien zum Schmelzen des Gußeisens regelmäßige Benutzung, haben sich aber zum Schmelzen sonstiger Legierungen nicht bewährt.

Durch gewisse Kunstgriffe läßt sich bisweilen die Erzielung gleichmäßiger Lösungen der Metalle in einander beim Schmelzen befördern. Hierher gehört z. B. Erstarrenlassen und erneutes Einschmelzen der Legierung. Gewöhnlich entstehen beim Gießen von Gebrauchsgegenständen Abfälle und Ausschußstücke, welche aufs neue, um verwertet zu werden, eingeschmolzen werden müssen; auch sogenanntes altes Metall, aus Gegenständen bestehend, welche durch Bruch oder sonstige Zufälligkeiten für ihren Zweck unbenutzbar geworden waren, gelangt zum Einschmelzen. Der erwähnte Einfluß des wiederholten Umschmelzens macht es erklärlich, daß ein mäßiger Zusatz solcher Abfälle und dergleichen mehr, sofern sie aus der nämlichen Legierung bestehen, förderlich für die Eigenschaften der zu schmelzenden Legierung sein kann. Die meisten der für Legierungen benutzten Metalle aber sind in der Schmelztemperatur ziemlich leicht oxydierbar und manche davon besitzen die Fähigkeit, ihr eigenes Oxyd zu lösen, wodurch nach Früherem ihre Brauchbarkeit benach-

teiligt werden kann; je öfter die Legierung umgeschmolzen wurde, desto reichlichere Gelegenheit zur Aufnahme von Oxyden war ihr gegeben. Hieraus folgt, daß nur ein maßvoller Zusatz jener alten Legierungen nützlich sein kann, und daß ein Schmelzen des Altmetalls ohne Zusatz frischen Metalls nur dann ohne Nachteil möglich ist, wenn eine Aufnahme von Oxyden beim Schmelzen nicht stattfindet. Eine Regel darüber, welches Verhältnis zwischen altem und frischem Metall das geeignetste zur Erzielung einer gut brauchbaren Legierung sei, läßt sich nicht aufstellen, da das alte Metall in dem einen Falle bereits öfter, in dem anderen weniger oft umgeschmolzen war. Meistens sind äußere Umstände — Preise und die Menge des überhaupt zur Verwendung stehenden Altmetalls — in erster Reihe maßgebend für jenes Verhältnis.

Sollen größere Mengen eines Einzelmetalls mit kleineren Mengen eines anderen legiert werden, so schmelzt man wohl zunächst von beiden Metallen annähernd gleiche Gewichtsmengen zusammen, und vereinigt dann erst diese Legierung in einem zweiten Schmelzen mit dem gebliebenen Überschusse des einen Metalls. Eine besonders häufige Anwendung findet dieses Verfahren, wenn die Schmelztemperaturen der Metalle weit auseinander liegen. Um z. B. kleine Mengen Kupfer mit viel Zinn zu legieren, bildet man zunächst durch Zusammenschmelzen des Kupfers mit ungefähr der gleichen Gewichtsmenge Zinn eine Legierung, deren Schmelztemperatur bedeutend tiefer als die des Kupfers liegt, und setzt diese dem übrigen Zinn hinzu. Das gleiche Verfahren wird eingeschlagen, wenn drei oder mehr Metalle von verschiedenen Schmelztemperaturen in abweichenden Gewichtsverhältnissen legiert werden sollen. Um z. B. eine Legierung aus drei Teilen

Blei (Schmelztemperatur 327°) mit 1 Teil Zinn (Schmelztemperatur 232°) und 1 Teil Antimon (Schmelztemperatur 631°) zu legieren, kann man zweckmäßigerweise zunächst ein Drittel des Bleies — also 1 Teil — mit dem gesamten Antimon legieren, in dem man letzteres in dem Blei, nachdem es geschmolzen worden ist, auflöst, dann erst den Rest des Bleies hinzufügen und zuletzt das Zinn, das leichtflüssigste, aber auch kostspieligste der Metalle, dessen Oxydation eben wegen seines höheren Preises nach Möglichkeit eingeschränkt werden muß, mit der Bleiantimonlegierung vereinigen. Ein anderes in dem vorliegenden Falle benutzbares Verfahren würde sein, daß man einen Teil des Bleies, wie beschrieben, mit dem Antimon, einen anderen Teil aber, unter Umständen den ganzen Rest, mit dem Zinn legiert und nun erst die Bleiantimonlegierung mit der Bleizinnlegierung vereinigt. Soll eine größere Menge Kupfer (Schmelztemperatur 1084°) mit geringeren Mengen Nickel (Schmelztemperatur 1451°) und Zink (Schmelztemperatur 419°) legiert werden (Neusilber), so kann man zunächst einen Teil des Kupfers mit dem Nickel, einen anderen Teil mit dem Zink zusammenschmelzen und dann erst die Nickelkupfer- mit der Zinkkupferlegierung vereinigen. Das scheinbar umständlichere Verfahren findet seine Begründung in dem Umstande, daß einesteils durch die Bildung von Zwischenlegierungen, deren Schmelztemperaturen nicht so weit, wie die der Einzelmetalle auseinander liegen, die gleichmäßige Vereinigung erleichtert wird, und daß fernerhin leicht oxydierbare oder flüchtige Metalle (z. B. Zink), sobald sie in Legierungen sich befinden, der Oxydation oder Verflüchtigung weniger unterworfen sind als im reinen Zustande. Man legiert sie also zunächst in solcher Weise

daß die Vereinigung rasch und leicht erfolgt, und vermeidet solcherart übermäßige Verluste.

Bei Metallen, welche nur schwierig sich legieren oder zum Seigern geneigt sind, kann — abgesehen von dem erwähnten mehrmaligen Einschmelzen — ein längeres Flüssigerhalten unter fleißigem Umrühren zur Erzielung einer gleichmäßigen Legierung beitragen.

Zur Erzielung dichter, blasenfreier Güsse gewinnt das Gießen im Vakuum immer mehr praktische Bedeutung. Beim Gießen von Walzblöcken im Vakuum wird die Gießpfanne auf eine Kokille üblicher Bauart luftdicht aufgesetzt. Durch ein mit Ventil absperrbares Rohr steht die Kokille mit dem von der Luftpumpe bedienten Vakuumkessel in Verbindung. Auch für den Guß mit Matrizen und in Sandformen läßt sich das Verfahren anwenden.[1])

Eine weitere Neuerung ist das Gießen von Metallen unter Druck.[2])

Das Verfahren besteht darin, daß das geschmolzene Metall unter starkem Druck in Stahlmatrizen gepreßt wird. Das fertige Gußstück wird durch Oeffnen der Stahlmatrize entfernt und neues Metall eingepreßt. Dieses Verfahren hat sich aus dem der Herstellung von Bleikugeln in eisernen Formen entwickelt und ist nach und nach und' nach zu großer Vollkommenheit gediehen.

Das Metall muß unter genügend starkem Druck eingepreßt werden, damit es die Form gut ausfüllt und Schwindungen vermieden werden. Mit Hilfe neuerer Vorrichtungen ist es möglich, Gußstücke zu erzeugen,

---

[1]) Compressed Air Magazine B. 17, No. 2, S. 6330.

[2]) Gießerei-Ztg. 1911, No. 22, S. 690 u. f. aus Foundry Trade urnal Vol. 13, No. 116, 1911.

welche bei Abmessungen von etwa 10 cm nur um 0,0003 cm von den verlangten Maßen abweichen. Bisher konnten derartige Gußstücke nur aus Weißmetall hergestellt werden. Neuerdings vergießt man auch Messing und Bronze. Richtige Temperatur des zu vergießenden Metalls ist sehr wichtig, auch muß die Form im Innern möglichst glatt sein.

Eine wichtige Frage ist die Aufarbeitung der in der mechanischen Werkstätte fallenden Späne. Das Wiedereinschmelzen in Spanform bedingt manche Nachteile. Der Schmelzverlust (der Abbrand) ist bei der großen, der Luft ausgesetzten Oberfläche der Späne sehr beträchtlich, auch enthält das aus umgeschmolzenen Spänen gegossene Stück vielfach reichliche Mengen von Oxydationsprodukten, wodurch seine mechanischen Eigenschaften ungünstig beeinflußt werden. Durch Brikettierung der Späne lassen sich obige Mängel in hohem Maße vermindern.[1])

Nach Versuchen von Mehrtens[2]) ergaben z. B. 98 kg Messingspäne ein Ausbringen von 79 kg Metall (Schmelzdauer 1 Std. 15 Min.). Schmelzverlust = 19,4 pCt. des eingesetzten Metalls. Aus dem gleichen Spanmaterial wurden Briketts (Stückgewicht 2,5 kg) hergestellt und diese in dem gleichen Ofen bei gleicher Anfangstemperatur geschmolzen. Aus 94 kg Messingbriketts wurden 85 kg Metall (Schmelzdauer 45 Min.) erschmolzen. Der Schmelzverlust betrug hier nur 9 kg = 9,5 pCt. des eingesetzten Metalls, er ist in erster Linie durch den Abbrand des Zinkes bedingt, bei Bronzen ist er nicht so beträchtlich.

---

[1]) Einrichtungen hierzu liefert die „Hochdruckbrikettierung G.m.b.H“, Berlin SW. 48.

[2]) J. Mehrtens „Metallspänebriketts und deren Verwendung in der Metallgießerei“, Werkstattstechnik, VI. Jahrgang 1912, S. 612.

IV. Die gewerblich wichtigsten Legierungen.

1. Die Bronzen.

a) Geschichtliches.

Unter allen Legierungen sind die Bronzen weitaus die berühmtesten. Schon im Altertume spielte die Bronze als Stoff für Waffen, Hausgeräte und Schmuck eine hervorragende Rolle, und die unter den Altertumsforschern während geraumer Zeit herrschende, erst neuerdings als irrig erkannte Ansicht, daß bei allen Kulturvölkern die Bronze früher als das Eisen für alle jene Verwendungen gedient habe, gab Veranlassung, einem ganzen Zeitabschnitte in der Kulturgeschichte der Völker den Namen Bronzezeit beizulegen.[1])

Der Name Bronze ist indessen noch nicht sehr alt und scheint erst im fünfzehnten oder sechzehnten Jahrhunderte eingeführt worden zu sein. Der italienische Schriftsteller Vannuccio Biringoccio sagt in seiner 1550 erschienenen Pirotechnia, daß Legierungen aus Kupfer und Zinn mit dem Namen bronzo bezeichnet würden, ohne jedoch eine Begründung dieser Benennung zu geben; aus der italienischen Sprache ging

---

[1]) Ausführliche Widerlegungen dieser Ansicht findet der Leser in Dr. L. Beck, „Die Geschichte des Eisens“ Bd. I, S. 35, 343, 586.

das Wort in die deutsche, französische, englische und andere Sprachen über. Ob die von dem französischen Chemiker Berthelot ausgesprochene Ansicht, daß die Legierung ursprünglich brondision geheißen habe und ihren Namen von der Stadt Brundisium (Brindisi) ableite, richtig sei, möge dahingestellt bleiben. In älteren Schriften wird die Bronze einfach „Erz" (Eigenschaftswort ehern) genannt.

Im weitesten Sinne läßt sich Bronze als ein durch Aufnahme anderer Körper gießbar, fester und härter gewordenes Kupfer bezeichnen. Die dem reinen Kupfer abgehende Leichtgießbarkeit der Legierung erleichtert wesentlich die Verarbeitung; die größere Festigkeit und Härte macht sie tauglich für zahlreiche Verwendungen, für welche das reine, minder feste und ziemlich weiche Kupfer sich nicht eignen würde. Verschiedene sogenannte Bronzen aus ältester Zeit sind in der Tat nichts anderes als ein verhältnismäßig reichliche Mengen von Antimon, Blei, Arsen, Eisen und anderen Körpern enthaltendes Kupfer, welches vermutlich aus den Erzen ausgeschmolzen wurde; z. B.

Tabelle 9.

	Kupfer	Zinn	Arsen	Blei	Eisen	Antmon	Gold
Bronze aus einem in Ninive ausgegrabenen Palaste[1] .	88,0	0,1	0,6	3,3	4,1	3,0	—
Speerende aus Cyprus[2] . .	97,2	Sp.	1,3	0,1	1,3	—	0,3
Altägyptisches Messer[3] . .	97,1	0,24	2,3	—	0,4	—	Sp.

[1]) Kerl-Stohmann, technische Chemie, 3. Aufl., 4. Band, S. 206.
[2]) Dinglers Polyt. Journal, Bd. 216, S. 88.
[3]) Beck, Geschichte des Eisens, Bd. 1, S. 80.

Die Zusammensetzung dieser Bronzen ist derjenigen des heutigen sogenannten Schwarzkupfers ähnlich, eines aus schwefelhaltigen Erzen in den Kupferhütten gewonnenen noch unreinen Kupfers, welches erst durch oxydierendes Schmelzen von seinem Gehalte an Fremdkörpern befreit werden muß.

Als aber bei den Völkern die Verfahrungsweisen der Metallgewinnung und Metallverarbeitung allmählich sich vervollkommneten, als man die Metalle im reineren Zustande als früher aus ihren Erzen abscheiden lernte, da erkannte man, daß das Kupfer jene Eigenschaften insbesondere einen hohen Härtegrad, in besonders starkem Maße erlange, wenn man ihm einen gewissen Zinngehalt beigesellte. So entstand — bei manchen Völkern schon in vorgeschichtlicher Zeit — die Darstellung der eigentlichen Bronze durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Zinn. In der Tat enthalten die eigentlichen Bronzen der Völker des Altertums als wesentliche Bestandteile stets jene beiden Metalle in wechselnden gegenseitigen Gewichtsverhältnissen, wie sie durch den jedesmaligen Zweck bedingt wurden. Mitunter findet sich neben dem Zinn allerdings ein so erheblicher Bleigehalt, daß die Absicht des Zusatzes unverkennbar ist. Blei und Zinn werden bei den alten Völkern keineswegs scharf unterschieden; vielfach betrachtete man das Blei nur als eine geringwertigere Art des Zinns. So lag die Versuchung nahe, das kostspieligere Metall bei der Bereitung der Bronze teilweise durch das billigere zu ersetzen.

Zinkhaltige Bronzen, d. h. solche, deren Zinkgehalt offenbar absichtlich in die Legierung eingeführt worden war, finden sich erst in der Römerzeit, nachdem man gelernt hatte, das Kupfer durch Schmelzen mit Galmei

und Kohle, wie man glaubte, zu färben und an Gewicht zu vermehren, in Wirklichkeit mit Zink zu legieren. So entstanden durch Zusammenschmelzen dieses zinkhaltigen Kupfers mit Zinn Bronzen, welche, wie manche heutige derartige Legierungen, mit zunehmendem Zink- und abnehmendem Zinngehalte den Uebergang bilden zu den eigentlichen Zinkkupferlegierungen.

Tabelle 10.
Beispiele alter Bronzen.

	Knpfer	Zinn	Zink	Blei	Eisen	Nickel	Silber	Phosphor
Vorgeschichtliche Bronzefunde								
Beil von Meiersdorf[1]	87,25	13,08	—	—	Sp.	0,38	—	0,25
Axt von Limburg[1] .	83,65	15,99	—	—	„	0,63	—	0,05
Schwert von Steier[1] .	85,05	14,38	—	—	„	Sp.	—	0,10
Schwert aus Irland[2] .	83,50	5,15	—	8,35	3,0	—	—	—
Nadel aus Fühnen[2] .	91,33	8,10	—	—	—	0,57	—	—
Armband aus den Pfahlbauten d. Bieler Sees[2]	86,71	8,54	—	4,37	0,14	0,20	0,04	—
Altägyptische Bronzen								
Dolch	85,0	14,0	—	—	1,10	—	—	—
Pfeilspitze	76,6	22,2	—	—	—	—	—	—
Meißel (von so geringer Härte, daß er auf Stein sich sofort umbog[3])	94,0	5,9	—	—	0,1	—	—	—
Altgriechische und verwandte Bronzen								
Dolch aus Cyprus[4] .	88,7	8,5	—	1,5	0,5	0,3	—	—

[1]) Journal für praktische Chemie, Bd. 25, S. 258.
[2]) E. Wibel, Kultur der Bronzezeit Nord- und Mitteleuropas.
[3]) Beck, Geschichte des Eisens, Bd. 1, S. 80.
[4]) Dingler Polyt. Journal 216, S. 88.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei	Eisen	Nickel	Silber	Phosphor
Dübel vom Artemistempel in Magnesia[5])	65,46	4,95	—	28,21	—	—	—	—
Bronzeschale a. Ninive[6])	80,8	18,4	—	0,4	0,2	0,4	—	—
Henkel eines Gefäßes aus Mykenä	89,7	10,1	—	—	—	—	—	—
Schwert ebendaher . .	86,4	13,0	—	0,11	0,17	0,15	—	—
Altattische Münze[7]) .	88,46	10,04	—	1,50	—	—	—	—
Atheniensische Münze[7])	76,41	7,05	—	16,54	—	—	—	—
Römische und andere Bronzen aus dem späteren Altertum								
Viktoriastatue aus Brescia[8])	80,8	9,4	1,9	7,7	—	—	—	—
Im germanischen Museum zu Nürnberg: Pferdegebiß[9])	44,4	5,2	6,0	44,2	0,2	—	—	—
Im germanischen Museum zu Nürnberg: Löffel[9]) . .	77,1	0,8	28,1	—	—	—	—	—
Im germanischen Museum zu Nürnberg: Aegyptische Figur[9]) . .	83,6	2,6	4,7	8,9	—	—	—	—
Im germanischen Museum zu Nürnberg: Griechisches Gefäß[9]) . .	76,1	15,6	8,2	—	—	—	—	—
Münze d. Titus Claudius	81,4	18,6	—	—	—	—	—	—
„ „ Caesar Nerva	85,1	11,5	—	3,4	—	—	—	—
„ „ Trajan . . .	88,6	1,8	7,6	2,2	0,3	—	—	—
„ „ Nero . . .	81,1	1,1	17,8	—	—	—	—	—
„ „ Diocletian .	95,8	2,2	—	1,9	—	—	—	—

5) Vom Verfasser (Ledebur) untersucht.
6) Deutsche Industriezeitung 1868, S. 376.
7) Journal für praktische Chemie, Bd. 40, S. 372.
8) Wagners Jahresbericht der chem. Technologie 1861, S. 118.
9) Wagners Jahresbericht 1876, S. 210.

b) Allgemeine Eigenschaften.

Wie im Altertume bilden auch heute Kupfer und Zinn, jedoch stets mit vorwiegendem Kupfergehalte, in den allermeisten Fällen die eigentlichen Bestandteile der Bronze, und die wesentlichen Eigenschaften, durch welche sich diese Legierung vor dem Kupfer und gewissen, der Bronze ähnlichen aber billigeren Legierungen (Tombak, Messing) auszeichnet, sind, wie schon oben erwähnt wurde, Gießbarkeit, Härte und Festigkeit; welche bedeutende Steigerung seiner Festigkeit und Härte das Kupfer schon durch einen mäßigen Zusatz von Zinn erfährt, wurde bereits früher (vergl. Abb. 15 und 22) gezeigt. Unter den häufiger vorkommenden und deshalb billigeren Metallen ist kein anderes imstande, das Zinn hinsichtlich dieser Einwirkung zu ersetzen; nur das Aluminium übt, wie ebenfalls schon erwähnt wurde, ähnliche Einflüsse aus (vergl. Abb. 16).

Wo große Härte und Festigkeit die Haupterfordernisse der Legierung bilden, wird die Bronze nur aus jenen zwei Metallen zusammengesetzt; ist nur ein mittleres Maß dieser Eigenschaften erforderlich, während daneben gewisse andere Eigenschaften als förderlich für die Benutzung erscheinen (Billigkeit, Farbe u. a.), so fügt man wohl andere Metalle, insbesondere Zink oder Blei, der Legierung hinzu, wie unten ausführlicher besprochen werden wird.

Mit der Härte der Bronze aber wächst in raschem Maße ihre Sprödigkeit, und beim Überschreiten eines gewissen Verhältnisses des Zinngehalts zum Kupfer nimmt die Festigkeit wieder ab (Abb. 15); die Legierung wird bei allzu hohem Zinngehalte unbrauchbar für alle Zwecke.

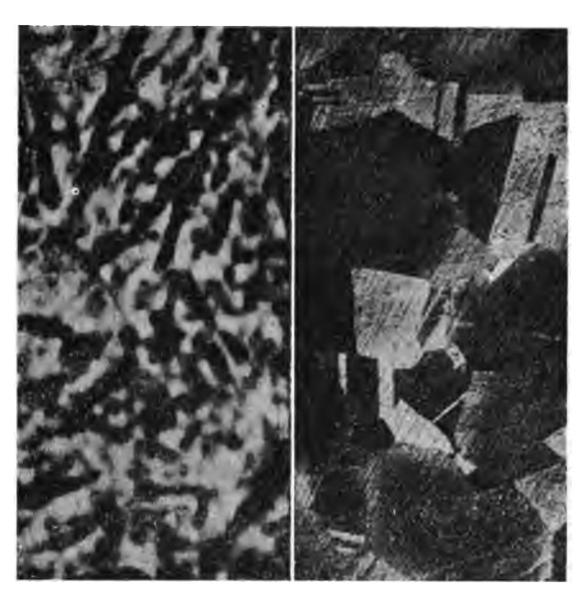
Daher ist jenes Verhältnis des Zinns zum Kupfer niemals größer als etwa 30 : 70, in den meisten Fällen erheblich geringer. Wie die schon mitgeteilten Analysen alter Bronzen erkennen lassen, hatten auch die Metallarbeiter des Altertums diesen nachteiligen Einfluß eines allzu hohen Zinngehalts sehr wohl erkannt, und sie beschränkten sich auch bei Herstellung von Gegenständen, von denen ein hoher Härtegrad verlangt wurde, (Waffen, Werkzeuge), auf einen sehr mäßigen Zusatz an Zinn.

In naher Beziehung zu der Zunahme der Härte und Sprödigkeit steht die Abnahme der Geschmeidigkeit bei wachsendem Zinngehalte. Während reines Kupfer auch in gewöhnlicher Temperatur einen ziemlich hohen Grad von Geschmeidigkeit besitzt und sich weitgehenden Formveränderungen durch Prägen, Drücken auf der Drehbank und ähnliche Arbeiten unterwerfen läßt, ertragen die Bronzen, ohne erhitzt zu werden, eine gleiche Verarbeitung nur, wenn ihr Zinngehalt nicht über 6 v. H. hinausgeht, und mit ihrem Zinngehalte steigert sich die Schwierigkeit der Verarbeitung; im glühenden Zustande ist die Verarbeitung möglich bei einem Zinngehalte bis höchstens 15 v. H.; in ganz dunkler Rotglut, aber weder in höherer noch in niedrigerer Temperatur, verarbeitbar sind Bronzen mit 18 bis 22 v. H. Zinn[1]).

Von großem und sehr wichtigem Einfluß ist die Art und Weise der Abkühlung nach dem Guß sowie die sonstige Wärmebehandlung auf die mechanischen Eigenschaften der Bronze. Schnell abgekühlte Bronzen sind spröder und härter als rasch abgekühlte, und, wie

[1]) Comptes rendus Bd. 69, S. 985; Dinglers Polyt. Journal Bd. 213, S. 252.

d'Arcet zuerst fand[1]), verringert sich durch Erhitzen auf dunkle Rotglut und Ablöschen in Wasser ihre Härte und Sprödigkeit. Man macht von diesem Verhalten der Bronze Anwendung, um sie weicher und geschmeidiger zu machen und nennt das betreffende Verfahren — das Er-



Konillenguß. Nach dem Ausglühen bei 900° C.

Abb. 42.

Bronze mit 6 % Zinn.

---

[1]) Bulletin de la Société d'Encouragement 1814, S. 289. Im übrigen wird auch reines, bei der Bearbeitung spröde gewordenes Kupfer geschmeidiger, wenn es geglüht und dann in Wasser abgelöscht wird. (Mitteilungen der Königl technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1894, S. 64 und S. 36). Neuere Versuche von Shepherd und Upton über die Beeinflussung der Festigkeitseigenschaften der Bronze durch Erhitzen und Ablöschen. Journal of Physical Chemistry 1905, S. 441; daraus in Metallurgie 1906, S. 29. Vergl. auch E. Heyn und O. Bauer „Untersuchungen über Lagermetalle, Rotguß." Mitt. a. d. Kgl. Materialprüfungsamt 1911, Heft 2.

hitzen und Ablöschen — *Anlassen der Bronze*. Bei dünneren Stücken genügt schon eine Erwärmung auf die Schmelztemperatur des Zinns (232°) vor dem Ablöschen, um einen Erfolg hervorzubringen; am deutlichsten zeigt sich die Wirkung dieses Anlassens bei Bronzen mit 18 bis 22 v. H. Zinn. (Vergl. auch Seite 45.) Vielfach spiegelt sich die Vorbehandlung im Gefüge wieder. Deutlich zeigt dies das in Abb. 42 (Vergrößerung



Abb. **43**.
Bronze mit 12 % Zinn.

25 fach) dargestellte Beispiel. Beide Bildhälften entsprechen derselben Legierung (mit etwa 6% Zinn). Die linke Bildhälfte zeigt das Gefüge im ursprünglichen, infolge rascher Abkühlung bewirkten Zustand (Kokillenguß), während die rechte Bildhälfte das Gefüge nach dem Ausglühen bei 900° C und sehr langsamer Abkühlung darstellt.

Im ersteren Fall (linke Bildhälfte) sind die Gleichgewichtszustände noch nicht erreicht, man hat zwei verschiedene unscharf voneinander abgegrenzte Gefügebestandteile, der helle ist der zinnreichere und der dunkle der kupferreichere. Im letzteren Fall (rechte Bildhälfte) ist dagegen der volle Gleichgewichtszustand eingetreten. Es besteht nur ein einziger Gefügebestandteil. Der Unterschied in der verschiedenen Wärmebehandlung kommt sehr stark z. B. in der Härte der Legierung zum Ausdruck. Die Härte der Legierung im rasch abgekühlten Zustand verhält sich zu der nach dem Glühen wie etwa 100 : 72, also rund wie 4 : 3.

Bei höheren Zinngehalten (über 8% Zinn) tritt ein neuer Gefügebstandteil in Erscheinung.

Abb. 43 zeigt in 365 facher Vergrößerung den Schliff einer Zinnkupferlegierung mit 12 v. H. Zinn nach dem Ätzen mit Kupferammoniumchlorid und Anlassen[1]). *a* sind Mischkristalle von Kupfer und Zinn. Sie bilden den kupferreichsten Bestandteil des Gefüges und zeigen meistens einen etwas kupferreicheren Kern und etwas zinnreicheren Rand infolge unvollständigen Gleichgewichtes zwischen den ausgeschiedenen Kristallen und der noch flüssig bleibenden Legierung; bei etwa 780° C. erstarrt der noch flüssige Anteil der Legierung unter Bildung eines zinnreichen Mischkristalles *b*. Endlich geht noch bei etwa

[1]) Nach Heyn und Bauer: Kupfer, Zinn und Sauerstoff (Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt Gr. Lichterfelde-West 1904, S. 138). Sonstige Abhandlungen über die Metallographie der Bronzen: G. Charpy, Etude microscopique des alliages métalliques, Bulletin de la Société d'Encouragement, März 1897; W. Campbell, The microscopical examination of the alloys of copper and tin, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1901; ferner eine Abhandlung von Heycock und Neville in den Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1903.

500° C., nachdem die ganze Legierung bereits fest geworden ist, eine Umwandlung innerhalb der erstarrten Masse vor sich. Der zinnreiche Mischkristall *b* wandelt sich in ein Gemenge einer neuen noch zinnreicheren Kristallart β um unter Abscheidung von kupferreichen Mischkristallen *a*. Der Aufbau dieses Gemenges ähnelt dem eutektischen Gefügeaufbau.

Auf obige Verhältnisse bei der Erstarrung und Abkühlung der Bronzen ist auch eine Erscheinung an Bruchflächen von Bronzen zurückzuführen, die man früher meist für Seigerung innerhalb der Legierung gehalten hat.

Gegossene Zinnbronzen zeigen häufig auf dem Bruch Flecken von verschiedener Farbe; meist liegen graue Teile (sogenannte Zinnflecke) in einer mehr bronzefarbenen Masse. Die Erscheinung steht in innigem Zusammenhang mit der Abkühlungsgeschwindigkeit nach dem Guß. Je langsamer der Guß erstarrte, desto häufiger und größer treten die Zinnflecken auf, je schneller die Abkühlung war, um so mehr verschwinden die Flecken, so daß mit bloßem Auge schließlich nur noch eine graugelbe, gleichmäßige Färbung des Bruches beobachtet werden kann. Eine Seigerung hat hier nicht stattgefunden, die Erklärung für diese Erscheinung ist folgende:

Die bei der Erstarrung zuerst zur Ausscheidung komdenden kupferreichen *a*-Misckristalle bilden nicht sofort volle Kristalle, sondern Kristallskelette nach Art der Tannenbäume. Je langsamer die Abkühlung vor sich geht, um so größer ist der Tannenbaum. Zwischen den Zweigen dieser Tannenbäume erstarrt dann in zweiter Linie der zinnreiche helle Mischkristall *b*, wie bereits früher erwähnt. Das Ganze bildet dann nach der vollständigen Erstarrung ein großes Korn *k*. Der Vorgang ist

in Abb. 44 schematisch abgebildet. Bricht man eine solcherart erstarrte Legierung entzwei, so wird der Bruch teils im Skelett *a*, teils in der hellen Füllmasse *b* verlaufen. Soweit er in *a* liegt, wird er bronzefarben sein, soweit er sich durch die Füllmasse *b* erstreckt, hat er graue Farbe.

Sind die Körner *k* infolge langsamer Abkühlung grob ausgebildet, so werden größere bronzefarbene und graue Flächen auf dem Bruch nebeneinander erscheinen, als wenn die Abkühlung schnell und die einzelnen Körner *k*

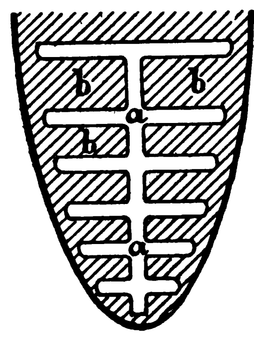


Abb. 44.

nur klein waren. Man hat also im Bruchaussehen ein gutes Kennzeichen für die Art der Abkühlung nach dem Guß.

Nach Maßgabe der verschiedenen Zwecke, welchen die Bronze in der Jetztzeit zu dienen hat, ist ihre Zusammensetzung ziemlich mannigfaltig. In folgendem sollen die wichtigeren dieser Bronzearten ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften gemäß besprochen werden.

c) Geschützbronze.

Während man anfänglich die groben Geschütze aus schmiedeeisernen, mit Reifen umgebenene Stäben fertigte, erscheinen seit dem 14. Jahrhunderte Bronzegeschütze[1] als Kriegswaffe, und obwohl später neben ihnen vielfach Gußeisengeschütze, in neuester Zeit Stahlgeschütze Verwendung finden, wird doch auch die Bronze bis zum heutigen Tage noch für jenen Zweck benutzt. Zahlreiche wertvolle Untersuchungen über die Eigenschaften der Bronze sind durch das Bestreben veranlaßt worden, den Geschützguß in möglichster Weise zu vervollkommnen.

Damit ein Metall als Geschützmaterial dienen könne, darf es nicht zu weich sein; wie mehrfach erwähnt, ist Härte eine der kennzeichnenden Eigenschaften der Bronze. Es muß fest sein; auch in dieser Beziehung zeichnet sich die Bronze vorteilhaft aus. Es darf aber nicht zu spröde sein, sondern muß noch einen gewissen Grad von Zähigkeit besitzen, damit es nicht unter der Schußwirkung plötzlich zerspringe. Hieraus erklärt es sich, daß der Zinngehalt der Geschützbronze nicht ganz jenes Maß erreichen darf, wo zwar die Festigkeit bei vollständig ruhiger Belastung am beträchtlichsten, die Zähigkeit aber sehr unbedeutend ist (vergl. Seite 101). Durch die im Laufe der Jahrhunderte gewonnenen Erfahrungen hat man gefunden, daß eine Bronze mit 89 bis 90 Teilen Kupfer und 11 bis 9 Teilen Zinn am geeignetsten für den Geschützguß ist, und in allen Kulturstaaten pflegt deshalb dieses Verhältnis der beiden Metalle innegahlten zu werden. Die Zusammensetzung der jetzigen Geschützbronze

---

[1]) Die Araber sollen schon im 12. Jahrhundert Bronzegeschütze geführt haben. Vergl. Kerl-Stohmann Technische Chemie, 3. Aufl. 4. Bd., S. 202.

entspricht daher ziemlich genau derjenigen, welche die Griechen und andere Völker des Altertums für Herstellung von Waffen in Anwendung brachten.

Ein Zusatz anderer Metalle zum Kupfer neben dem Zinn würde die Brauchbarkeit der Geschützbronze benachteiligen, sei es, daß dadurch die Festigkeit abgemindert, oder daß die Sprödigkeit erhöht würde. Daher ist es Regel, nur reine Zinnbronze zu verwenden; ausnahmsweise gibt man in einigen Ländern einen kleinen Zusatz (bis 1,5 v. H.) Zink, um die Gießbarkeit zu erhöhen.

Da schon kleine Mengen fremder, unabsichlich in die Bronze geführter Körper (Antimon, Wismut, Arsen, Schwefel u. a. m.) ihr Verhalten ungünstig beeinflussen können, ist es notwendig, möglichst reine Metalle für die Bereitung der Geschützbronze zu verwenden.

Daß die Geschützbronze früherer Jahrhunderte oder solcher Völker, welche den Geschützguß in roherer Weise als die Kulturstaaten Europas betreiben, in ihrer Zusammensetzung oft erhebliche Abweichungen von der mitgeteilten Zusammensetzung aufweist, ist leicht erklärlich. Man findet Zink in oft größeren Mengen als Zinn, mitunter einen reichlichen Gehalt von Blei, und als zufällige Bestandteile Eisen, Wismut, Antimon, Arsen und andere Körper mehr[1]).

Das Schmelzen der Geschützbronze — des Stückguts — geschieht in Flammöfen bei offenem Herde (d. h. ohne Tiegel). Da erfahrungsmäßig Kupfer und Kupferlegierungen aus den schwefelhaltigen Verbrennungsgasen

---

1) Beispiele hierfür: Philosophical Magazine Bd. 23, S. 181; Ledebur, Metallverarbeitung auf chemisch-physikalischem Wege, S. 66; Kerl-Stohmann, technische Chemie, 3. Aufl., 4 Bd., S. 207.

mineralischer Kohlen Schwefel aufnehmen und dadurch verschlechtert werden können, pflegt man Holzfeuerung für die Heizung der Öfen anzuwenden. Alte, zum Wiedereinschmelzen bestimmte Geschützbronze wird nebst dem Kupfer zuerst eingeschmolzen; alsdann erst wird das vorher angewärmte Zinn in dem Bade aufgelöst. Man vermeidet hierdurch einen allzu großen Verlust des leichter oxydierbaren Zinns; trotzdem ist es erforderlich, von dem letzteren Metalle einen um 2 bis 3 v. H. höhern Zusatz zu geben, als der endgültigen Zusammensetzung der Geschützbronze entspricht, da ein teilweiser Verlust unvermeidlich ist.

Das geschmolzene Metall wird mit hölzernen Stangen gut durchgerührt; ehe der Guß beginnt, überzeugt man sich mit Hilfe eines geeigneten Pyrometers, ob die Temperatur der Legierung die zum Gusse geeignete sei. Zu hohe Temperatur bedingt zu langsame Erstarrung, wodurch die Entstehung der Zinnflecken (näheres hierüber siehe Seite 106) begünstigt wird, eine zu niedrige Temperatur läßt befürchten, daß die Lösung der Metalle ineinander nicht vollkommen vonstatten gegangen sei, oder auch, daß das geschmolzene Metall die Gußform nicht scharf ausfülle. Alsdann folgt das Entleeren des Ofens durch Öffnen des Stichlochs wie gewöhnlich.

Bei verschiedenen dem Betriebe entnommenen Beispielen beziffert sich das Verhältnis des Altmetalls zum frisch zugesetzten Kupfer und Zinn im Einsatze ungefähr wie 88½ : 10 : 1½; doch sind auch hierfür äußere Um-Umstände, z. B. die Menge des überhaupt vorhandenen Altmetalls, zum Teil ausschlaggebend. Der Gesamtverlust an Metall beim Schmelzen (durch Verschlackung und Verflüchtigung) pflegt 4 bis 6 v. H. zu betragen.

d) Glockenbronze.

Die Verwendung der Bronze zur Herstellung von Glocken und ähnlichen Klanggeräten ist sehr alt. Kleinere Glocken wurden schon bei dem altägyptischen Opferdienste gebraucht; große Kirchenglocken kamen erst in der christlichen Zeit, wie es scheint, zuerst im sechsten Jahrhundert, zur Anwendung. Einige der letzteren besitzen ein ungeheures Gewicht. Eine im Jahre 1653 zu Moskau gegossene, bei einem Brande im Jahre 1701 herabgestürzte und zerbrochene Glocke, Iwan Welicki genannt, deren Überbleibsel noch vorhanden sind[1]), wog bei einem Durchmesser von ungefähr 7 m 240 t; eine andere Moskauer Glocke wiegt 80 t; eine im Jahre 1632 gegossene Glocke eines japanischen Tempels zu Kioto wiegt 75,6 t, die Kaiserglocke in Köln 27 t.

Die Glockenbronze — auch Speise oder Glockengut genannt — muß hart sein, um Klang zu geben und um keine Formveränderungen unter den zahlreich wiederholten Einwirkungen des Klöppels zu erleiden; daher gibt man ihr einen noch größeren Zinngehalt als der Geschützbronze. Sie muß aber trotz des hohen Zinngehalts möglichst wenig spröde sein, um nicht unter jenen Einwirkungen zu zerspringen, und aus diesem Grunde ist der Zusatz aller sonstigen Metalle außer Kupfer und Zinn ausgeschlossen; er würde nutzlos, in den meisten Fällen schädlich sein. Das seit Jahrhunderten bewährte Verhältnis der beiden Bestandteile ist 20 bis 23 Teile Zinn auf 80 bis 77 Teile Kupfer. Fremde zufällige Bestandteile —Blei, Eisen, Nickel u. a. — finden sich natürlich in um

---

[1]) Abbildung dieser Glocke: Ledebur, Mechanisch-metallurgische Technologie, 3. Aufl., S. 25.

so größeren Mengen, je weniger rein die beiden angewendeten Metalle waren, und treten deshalb in alten Glocken durchschnittlich reichlicher auf als in neuen. Der Bleigehalt pflegt 1 bis 4 v. H. zu betragen; Silber ist mitunter in Mengen bis zu 1 v. H. gefunden worden[1]), zum Teil vielleicht von den Silberspenden herrührend, welche in früherer Zeit vielfach für Glockengüsse dargebracht wurden, jedenfalls aber nicht sämtlich der Absicht der Stifter entsprechend verwendet worden sind. Daß eine Verbesserung der Glockenbronze durch Zusatz von Silber so wenig als durch Zusatz eines anderen Metalles zu erreichen, eher eine Verschlechterung zu erwarten ist, ergibt sich aus dem über die Eigenschaften der Legierungen im allgemeinen gesagten und ist auch durch Beobachtungen bestätigt worden.

Das Schmelzen des Glockenguts geschieht ebenfalls, wie das der Geschützbronze, im Flammofen, in der Regel bei Holzfeuerung. Wegen des höhern Zinngehalts aber würde ein erheblicher Abbrand zu befürchten sein, wenn man unter gleichen Verhältnissen, d. h. in gleich hoher Temperatur, wie in Geschützgießereien schmelzen wollte; da nun eben dieser größere Zinngehalt erheblich die Schmelztemperatur erniedrigt, ist man imstande, mit schwächerem Luftzuge zu schmelzen und solcherart eine Flamme mit geringerer Oxydationswirkung zu erzeugen. Oft ist man allerdings in der Verfolgung dieses Ziels zu weit gegangen, und noch vor nicht langer Zeit gab es in Glockengießereien Schmelzöfen, ganz nach dem Muster früherer Jahrhunderte gebaut, welche mehrere Tage und Nächte gefeuert werden mußten, ehe sie in die zum

[1]) Analysen alter Glocken: Kerl-Stohmann, technische Chemie, 3. Aufl., 4. Bd., S. 219.

Schmelzen geeignete Temperatur gekommen waren. Statt der zugerzeugenden Esse dienten Öffnungen — sogenannte Pfeifen — im Gewölbe des Ofens zum Austreten der Verbrennungsgase; durch Öffnen oder Schließen dieser Pfeifen regelte man die Verteilung der Flamme im Ofen, und an ihrem Erglühen erkannte man, daß die zum Schmelzen erforderliche Temperatur erreicht sei[1]).

Beim Schmelzen wird zuerst die alte Bronze nebst dem erforderlichen Kupfer eingesetzt, und das Zinn wird erst dem Bade zugefügt, wenn das übrige Metall sich im Flusse befindet. Wenn alles geschmolzen und gut durchgerührt ist und der Glockengießer glaubt, daß die Legierung die richtige Zusammensetzung besitze, schöpft er, um sich zu überzeugen, mit einer Kelle eine kleine Probe aus dem Ofen, läßt sie erkalten und zerschlägt sie, um nach dem Aussehen der Bruchfläche die Beschaffenheit zu beurteilen. Glockenbronze von der oben angegebenen Zusammensetzung besitzt auf dem Bruche gelblich graue Farbe und ein sehr feinkörniges, dichtes Gefüge.

In China fertigt man aus einer Glockenbronze mit durchschnittlich 80 Teilen Kupfer und 20 Teilen Zinn schalenartige Becken, welche mit Klöppeln geschlagen werden und unter der Bezeichnung „Tamtams" oder „Gonggongs" auch außerhalb Chinas eine nicht seltene Benutzung als laut tönende Klangwerkzeuge gefunden haben[2]). Sie sind durch Schmieden mit dem Hammer aus

[1]) „Seht, wie sich die Pfeifen bräunen"; Schiller im Liede von der Glocke.

[2]) Tamtams sind die kleineren Geräte dieser Art mit hellerem Ton, Gongons größere mit tieferem Ton. Nicht selten werden jetzt in Europa billige Klangbecken unter dem Namen Tamtams oder Gongons in den Handel gebracht, welche jedoch in Wirklichkeit nur aus Messing bestehen und den bronzenen an Klangfülle erheblich nachstehen.

einem dickeren Metallblocke hergestellt worden, wie ihr Äußeres deutlich erkennen läßt; Glockenbronze von der angegebenen Zusammensetzung aber ist in gewöhnlicher Temperatur wie in heller Rotglut vollständig spröde; auch das oben besprochene Ablöschen verringert nur ungenügend ihre Sprödigkeit. Lange Zeit hat man daher dem Geheimnisse der Herstellung nachgeforscht; in Wirklichkeit beruht es auf der schon erwähnten Eigenschaft dieser Legierungen, in einer ziemlich eng begrenzten Temperatur, ganz dunkler Rotglut, plötzlich geschmeidig zu werden, in höheren wie in niedrigeren Temperaturen aber ihre Geschmeidigkeit rasch zu verlieren[1]).

e) Spiegelbronze.

Im Altertume benutzte man, wie bekannt, metallene Spiegel und zwar vorwiegend bronzene; erst in der römischen Kaiserzeit kamen neben diesen goldene oder silberne Spiegel in Gebrauch. In der Jetztzeit bedient man sich der Metallspiegel noch für optische Instrumente.

Ein Spiegelmetall muß vor allen Dingen politurfähig sein, und diese Eigenschaft pflegt in geradem Verhältnisse zu seinem Härtegrade zu stehen; fernerhin ist eine weiße oder helle Farbe erwünscht. Diese Ansprüche erfüllt unter den nicht allzu kostspieligen Legierungen am besten eine sehr zinnreiche Bronze, und da eine etwaige Sprödigkeit des Metalls für die Verwendung zu Spiegeln wenig in Betracht kommt, kann ein noch höheres Verhältnis des Zinns zum Kupfer angewendet werden als in der Glockenbronze, um die für das Spiegelmetall erforderlichen Eigenschaften in stärkerem Maße hervorzurufen. Als ein be-

---

[1]) Näheres über die Herstellung: Comptes rendus Bd. 70, S. 85.

währtes Verhältnis gilt 2 Teile (66⅔ v. H.) Kupfer auf 1 Teil 33⅓ v. H.) Zinn.

Die Spiegelfläche darf aber auch nicht „anlaufen“, d. h. unter den chemischen Einflüssen des Sauerstoff-, Feuchtigkeit-, Kohlensäure- und Schwefelwasserstoffgehalts der Luft ihren Glanz verlieren. Aus diesem Grunde haben sich manche Zusätze als nachteilig erwiesen, die an und für sich wohl zur Steigerung der Härte und Politurfähigkeit förderlich gewesen sein würden; z. B. Arsen, Antimon, Blei[1]).

Einige Beispiele der Zusammensetzung neuerer und älterer Bronzespiegel sind folgende.

5000 kg schwerer Telescopspiegel zu Birr Castle in Irland: 70,24 v. H. Kupfer, 28,11 v. H. Zinn; außerdem kleine Mengen von Eisen, Nickel, Zink enthaltend (Wagners Jahresbericht 1881, S. 131).

Schöner Spiegel im Polytechnikum zu Braunschweig: 65,1 v. H. Kupfer, 32,8 v. H. Zinn.

Römischer Metallspiegel, bei Mainz gefunden: 63,4 v. H. Kupfer, 19,0 v. H. Zinn, 17,3 v. H. Blei (Journ. f. prakt. Chemie 82, S. 275).

Altägyptischer Metallspiegel: 85 v. H. Kupfer, 14 v. H. Zinn, 1. v. H. Eisen (Beck, Geschichte des Eisens I. S. 80).

Chinesische Metallspiegel, vermutlich sogenannte Zauber-

---

[1]) Nach Bischoff „Das Kupfer und seine Legierungen“, S. 252, besaß ein Spiegel mit 66,3 v. H. Kupfer, 32,1 v. H. Zinn, 1,6 v. H. Arsen einen vorzüglichen Glanz und weiße Farbe, lief aber nach einiger Zeit plötzlich an und überzog sich dann allmählich mit grüner Patina.

spiegel[1]), enthielten neben Kupfer, Antimon und Blei, z. B. 80,8 v. H. Kupfer, 8,4 v. H. Antimon, 9,7 v. H. Blei (Bischoff, Das Kupfer, S. 252 und 253), sind also als Bronzen im eigentlichen Sinne nicht zu bezeichnen.

f. Kunstbronze.

Unter dieser Bezeichnung sind alle solche Bronzen verstanden, welche kunstgewerblichen Zwecken dienen. Sie werden, wie alle Bronzen, vorwiegend durch Gießen verarbeitet und finden ihre hauptsächlichste Verwendung zur Herstellung von Standbildern, künstlerisch ausgeführten, durch Gießen hergestellten Gebäudeteilen (Geländern u. a. m.), Ziergeräten mannigfacher Art für Wohnungen und öffentliche Gebäude. Seit dem frühen Altertum ist die Bronze mit Vorliebe für diese Zwecke benutzt worden; wenn auch in der Neuzeit verschiedene andere Metalle im Wettbewerb mit ihr getreten sind (Gußeisen, Zink, Messing), so bildet sie doch unleugbar auch heute noch den geeignetsten Stoff für jene Verwendungen, sofern die zu fertigen Gegenstände einen dauernden Kunstwert besitzen sollen.

Sie ist gießbar und ermöglicht nach dem Gusse ohne Schwierigkeit die oft erforderliche Nacharbeitung mit Punzen und Grabstichel; sie ist wetterbeständig und zugleich vermöge ihrer Härte widerstandsfähig gegen mechanische Abnutzung; sie besitzt eine prächtige Farbe,

---

[1]) Diese Spiegel lassen erhabene auf der Rückseite aufgegossene Figuren oder Inschriften in dem von der Vorderseite zurückgeworfenen Lichte mehr oder minder deutlich erscheinen. Dickere Stellen, also in diesem Falle die aufgegossenen Figuren, kühlen bei der Erstarrung langsamer ab, das Kristallkorn wird gröber, sie werfen also das Licht beim nachfolgenden Schleifen und Polieren anders zurück als dünnere Stellen. Man kann auch aus anderen Kupferlegierungen solche Spiegel darstellen.

welche zwar unter dem Einflusse der Atmosphärilien sich bald ändert, d. h. dunkler wird und teilweise in Grün übergeht, auch nach dieser Änderung aber dem Auge wohlgefällig erscheint und niemals jenes unschöne Aussehen annimmt, wie z. B. verrostetes Eisen oder oxydiertes Zink.

Zur Blütezeit der altgriechischen Kunst benutzte man, wie schon erwähnt wurde, zum Gusse von Denkmälern und Bildsäulen zinkfreie Bronze mit einem Kupfergehalte von 75 bis 90 v. H., deren Zinngehalt allerdings mitunter — absichtlich oder unabsichtlich — durch Blei teilweise ersetzt war. Erst in der Römerzeit trat das Zink hinzu, und noch in der Jetztzeit ist es Regel, zinkhaltige Bronze für den Guß kunstgewerblicher Gegenstände zu benutzen. Mitunter ist sogar die Menge des Zinks in diesen Legierungen erheblich größer als die des Zinns, so daß sie den Namen Bronzen nur noch bedingungsweise verdienen; sie bilden Übergänge zwischen den eigentlichen Bronzen und den unten besprochenen Zinkkupferlegierungen.

Ein mäßiger Zinkgehalt kann aus mehrfachen Ursachen bei den hier in Rede stehenden Verwendungen der Bronze nützlich sein.

Zunächst kommt hier in Betracht, daß die Ansprüche, welche an die Härte und Festigkeit der Kunstbronze gestellt werden, nicht jenes Maß erreichen wie bei der Geschütz- und Glockenbronze; ein Zinkgehalt wirkt demnach auf die Brauchbarkeit weniger nachteilig ein, als bei jenen Bronzen. Die Einwirkung des Zinks auf die Eigenschaften der Legierung ist überhaupt schwächer als die des Zinns; die Sprödigkeit nimmt weniger rasch zu, die Farbe, diese gerade für Kunstbronze wichtige Eigenschaft, verändert sich langsamer bei Vermehrung des Zink- als des Zinngehalts. Man kann also ziemlich reichliche Mengen von

Zink hinzufügen, ohne fürchten zu müssen, daß die Bronze an Brauchbarkeit für die Zwecke der Kunstgießerei einbüße. Dadurch aber wird die Legierung billiger, denn der Preis des Zinks ist, wie bekannt, erheblich niedriger, als der des Kupfers und Zinns; und noch besser gießbar. Nicht allein erniedrigt ein Zinkgehalt die Schmelztemperatur der Bronze, sondern er macht sie auch dünnflüssiger und befähigter, die Gußformen scharf auszufüllen.

Ein allzu reichlich bemessener Zinkzusatz würde dagegen die Härte, d. i. Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung, wie auch die Festigkeit allzu sehr verringern; durch Erhöhung des Schwindmaßes beim Gießen die Entstehung von Saug- oder Lungerstellen befördern, also die Schwierigkeiten beim Gießen erhöhen, statt sie zu verringern, und die warme, rötliche oder goldähnliche Farbe der Bronze in ein weniger schönes Gelb umwandeln.

Als viertes, absichtlich in die Legierung geführtes Metall findet man auch jetzt noch häufig das Blei. Ein Bleigehalt trägt zur ferneren Erhöhung der Gießbarkeit bei und erleichtert die spätere Bearbeitung der Bronzegußstücke mit Meißel, Grabstichel und Feile, indem er durch Verringerung der Zähigkeit des Metalles das Abspringen der entstehenden Metallspäne von den Schneiden befördert, während bei bleifreier Bronze diese Späne sich leicht an den Schneiden festsetzen und solcherart die Arbeit erschweren. Er macht die Legierung aber auch spröder und vergrößert ihre Neigung zum Seigern; aus diesen Gründen pflegt man mit Recht den Bleizusatz auf ein ziemlich niedriges Maß zu beschränken. Von einigen Ausnahmefällen wird unten die Rede sein.

Für die Zusammensetzung solcher Bronzen, welche den Witterungseinflüssen unterworfen sind, insbesondere

also der für Standbilder auf öffentlichen Plätzen oder für Gebäudeteile bestimmten, kommen auch die Veränderungen in Betracht, welche die Farbe dieser Gegenstände unter jenen Einflüssen erleidet. Man verlangt, daß die im frischen Zustande goldähnliche oder gelbrote Farbe der Gußstücke sich allmählich in eine warme braune Grundfarbe mit grünem Überzuge, aus Patina oder Edelrost bestehend, umwandele.

Diese hellgrüne Patina, welche in besonders schöner Ausbildung auf den Bronzen des Altertums, zumal den griechischen Bronzen, uns entgegentritt, besteht im Wesentlichen aus Oxyden und basisch kohlensauren Verbindungen der Bestandteile der Bronze und entsteht im Laufe der Zeit unter der chemischen Einwirkung der Nässe und des Sauerstoff- und des Kohlensäuregehalts der Luft. Eine schöne Patina soll einen leuchtenden Farbenton und glatte Oberfläche besitzen; die von ihr überzogenen Gegenstände aber sollen auch nach Jahrhunderten noch ihre Umrisse in aller Feinheit und Schärfe, wie sie durch den Guß und die nachfolgende Bearbeitung erzeugt worden sind, und ihren Metallglanz erkennen lassen.

Reines Kupfer, welches zu Dachdeckungen und getriebenen Gegenständen, z. B. der Viktoriagruppe auf dem Brandenburger Tore zu Berlin, mitunter verwendet wird, und zahlreiche Bronzen mit und ohne Zusatz von Zink und Blei lassen eine derartige Patinabildung erkennen; Zinkkupferlegierungen ohne Zinn dagegen pflegen, zumal wenn ihr Zinkgehalt beträchtlich ist (Messing) an der Luft schwarz zu werden und sich mit einer rauhen, stumpfen Oxydschicht zu überziehen, deren Entstehung die Schärfe der Umrisse sehr bald vermindert; auch manche Bronzen zeigen ein gleiches ungünstiges Verhalten. Es folgt hier-

aus, daß die Zusammensetzung der im Freien aufgestellten Bronzegegenstände von Einfluß für die Dauer ihrer Schönheit ist, und zahlreiche Untersuchungen sind über die Beantwortung der Frage angestellt worden, welche Zusammensetzung der Bronze die geeignetste für die Entstehung einer schönen Patina sei[1]). Man hat gefunden, daß — wenigstens im allgemeinen — zinkreiche und zinnarme Bronzen sich in dieser Beziehung ungünstiger verhalten, als zinkärmere, und daß auch zufällige Beimengungen nicht ohne Einfluß auf die Patinabildung sind. Insbesondere schreibt man einem Arsengehalte, welcher bisweilen im Handelskupfer angetroffen wird, die nachteilige Einwirkung zu, ein Schwarzwerden der Bronze zu begünstigen. Jener geringe Bleigehalt, welcher häufig in europäischen Bronzen angetroffen wird, scheint nicht gerade nachteilig zu wirken. Im Übrigen verdient der Umstand Erwähnung, daß auch der Standort des Bronzegegenstandes von Einfluß für die Patinabildung ist. In einer schwefelwasserstoffhaltigen oder mit Rauch vermischten Luft erhalten auch die vorzüglichsten Bronzen einen schwarzen (statt grünen) Überzug, teils aus Schwefelkupfer, teils aus mechanisch abgelagertem Ruß bestehend[2]); umgekehrt können selbst zinkreiche Bronzen eine grüne Patina ansetzen, wenn sie in reiner Luft aufgestellt und den Witterungseinflüssen preisgegeben werden.

---

[1]) Dinglers Polyt. Journal, Bd. 232, S. 335; Bd. 245, S. 86; Bd. 257, S. 196; Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1864, S. 27; Metallarbeiter 1884, S. 75.

[2]) In dem schwarzen Ueberzuge des Kurfürstendenkmals zu Berlin, welches früher mit schöner grüner Patina bedeckt gewesen, in den letzten Jahrzehnten aber schwarz geworden war, fand Weber 5,79 % Schwefel und außerdem Rußteilchen; in dem schwarzen Ueberzuge zweier Nürnberger Standbilder fand Kämmerer 4,1 bis 6,8 % Schwefel, daneben reichliche Mengen von Sand und Ruß.

Endlich ist nicht zu bezweifeln, daß auch das Form- und Gießverfahren nicht ohne Einfluß für die spätere Patinabildung bleibt. Porige Abgüsse mit rauher Oberfläche werden leichter Staub und Ruß ansetzen und daher weniger zur Bildung einer schönen Patina neigen als dichte Abgüsse mit glatten Flächen.

Es erklärt sich leicht, daß die Zusammensetzung der zahlreichen Kunstbronzen innerhalb ziemlich weiter Grenzen sich bewegt, je nachdem der Verfertiger Billigkeit und Leichtschmelzbarkeit, welche beide Eigenschaften mit dem Zinkgehalte in geradem Verhältnisse zunehmen, oder möglichst große Dauerhaftigkeit, durch einen größeren Zinngehalt bedingt, als das vornehmste Ziel vor Augen hatte. Zum Teile ist der Kunstgießer auch von Zufälligkeiten abhängig. Er benutzt Altmetall, dessen ungefähre Zusammensetzung er zwar nach verschiedenen Merkmalen — Farbe, Gefüge, Erscheinungen beim Schmelzen — beurteilt, mit Sicherheit aber nicht erkennen kann, sofern nicht eine chemische Untersuchung angestellt wird, und fügt nach Gutdünken die Einzelmetalle hinzu. Manchmal mag die Zusammensetzung der fertigen Legierung doch ziemlich weit von der Zusammensetzung abweichen, welche beabsichtigt worden war.

Als eine für den Guß von Standbildern, welche im Freien stehen sollen gut geeignete Legierung empfiehlt Elster[1]) 86⅔ Teile Kupfer, 6⅔ Teile Zinn, 3⅓ Teile Zink, 3⅓ Teile Blei; in Wirklichkeit schwankt der Kupfergehalt bei den besseren Kunstbronzen zwischen 80—90 v. H., der Zinngehalt zwischen 3—8 v. H., der Zinkgehalt zwischen 1—10 v. H., Bleigehalt 1—3 v. H. Auch bei den

---

[1]) Dinglers Polyt. Journal, Bd. 212, S. 157.

aus früheren Jahrhunderten überkommenen Kunstbronzen findet man meistens eine ähnliche Zusammensetzung inne gehalten, z. B.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei
Löwe auf dem Burgplatze zu Braunschweig, 12. Jahrhundert	81,0	6,5	10,0	2,5
Großer Kurfürst in Berlin (1704)	87,7	8,2	1,7	2,2
Albrecht Dürer in Nürnberg .	88,6	5,2	0,1	4,5

Bei letzterem Standbilde ist der Bleigehalt etwas höher, als man für zweckmäßig zu erachten pflegt.[1])

Einen auffallend hohen Bleigehalt findet man in gewissen chinesischen und japanischen Bronzen, zumal in solchen, welche, zu Vasen, Schalen und dergleichen verarbeitet, auf schwarzem Grunde eingelegte Verzierungen aus Gold oder Silber enthalten, die nun wirkungsvoll von dem schwarzen Grunde sich abheben, z. B.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei
Japanische Bronze	82,7	4,7	1,8	9,9
desgl.	73,7	7,3	6,0	14,6
desgl.	71,4	6,4	5,9	16,3
Chinesische Bronze	74,0	1,0	10,0	15,0

Morin stellte eine derartige Bronze aus 83 v. H. Kupfer, 5 v. H. Zinn, 2 v. H. Zink und 10. v. H. Blei dar, und fand, daß sie beim Erhitzen in der Muffel mit Leichtigkeit jene schöne schwarze Färbung annahm, durch welche die untersuchten Bronzen ausgezeichnet waren.[2]) Es unterliegt demnach kaum einem Zweifel, daß deren Bleigehalt absichtlich zur Erreichung des besonderen

---

[1]) Sonstige Analysen alter und neuer Kunstbronzen findet der Leser in den genannten Abhandlungen über Patinabildung; ferner Ledebur, Metallverarbeitung auf chemisch-physikalischem Wege, S. 70; Bulletin de la Société d'Encouragement 1895, S. 590.

[2]) Dinglers Polyt. Journal, Bd. 213, S. 359.

Zweckes gegeben worden ist. Bei allzu heißem Gießen seigerte Morins Bronze stark und lieferte unbrauchbare Güsse. Ihre Festigkeit war gering.

Mitunter geben die Verfertiger von Bronzewaren, um ihren Erzeugnissen den Schein des Neuen, besonders Vorzüglichen, zu verleihen, der Bronzelegierung, aus welcher sie gefertigt wurden, auch einen neuen Namen. Solche Bezeichnungen, von denen gar häufig neue im Handel auftauchen, um dann nach kürzerer oder längerer Zeit wieder zu verschwinden, sind z. B. Mannheimer Gold oder Similor, eine im frisch bearbeiteten Zustande goldfarbige Legierung mit 83,7 v. H. Kupfer, 7,0 v. H. Zinn, 9,3 v. H. Zink; Chrysokalk, ebenfalls eine Legierung von schönem Farbenton, mit 90,5 v. H. Kupfer, 6,5 v. H. Zinn, 3 v. H. Zink, u. a. m. Ebenso wie bei den Kunstbronzen für Standbilder und andere große, für die Aufstellung im Freien bestimmte Gegenstände finden sich auch bei den mehr für den Schmuck des Hauses und die Benutzung im Hause dienenden Bronzen Übergänge zwischen der eigentlichen Bronze, deren Zinkgehalt nicht sehr bedeutend ist, und den billigeren, aber auch der Abnutzung stärker unterworfenen Zinkkupferlegierungen mit vorwiegendem Zink- und geringerem Zinngehalte, von welchen unten die Rede sein wird.

Die Bereitung und die Schmelzung der Kunstbronze geschieht im Tiegel, wenn nur kleinere Mengen davon für den Guß erforderlich sind, beim Gusse großer Gegenstände dagegen, insbesondere von großen Standbildern, in einem Flammofen, dessen Einrichtung im wesentlichen die gleiche ist, wie zum Schmelzen von Geschützbronze. Beim Schmelzen im Tiegel pflegt man sämtliche Bestandteile der Bronze gleichzeitig einzusetzen, beim Schmelzen im

Flammofen dagegen zunächst das Altmetall nebst dem Kupfer zu schmelzen, dann das angewärmte Zink und zuletzt das Zinn unter fleißigem Durchrühren zuzufügen. Der Abbrand beträgt, abweichend von der Zusammensetzung der Legierung, der Zeitdauer des Schmelzens und der Einrichtung des Ofens beim Flammenofenschmelzen 5—10 v. H., beim Tiegelschmelzen weniger.

g) Münzenbronze.

Seit dem Altertume hat man die Bronze zu der Anfertigung von Scheidemünzen benutzt, und die auf Seite 100 mitgeteilten Analysen einiger solcher Münzen aus dem Altertume können als Beispiele ihrer Zusammensetzung dienen. Solange man nicht die Mittel besaß, die Zusammensetzung der Münzen durch chemische Untersuchung zu erforschen, fehlte auch jede zuverlässige Überwachung dieser Zusammensetzung, und so finden wir, zumal in der Römerzeit, neben reinen Kupfermünzen solche aus wirklicher Bronze und, besonders häufig, aus jener zinkhaltigen Bronze mit geringerem oder größerem Zinkgehalte, nicht selten auch aus Messing, d. h., Zinkkupfer mit nur geringem oder auch gar keinem Gehalte von Zinn.

Scheidemünzen aus reinem Kupfer würden wegen der geringen Härte dieses Metalls einer raschen Abnutzung unterworfen sein, durch welche das Gepräge seine Deutlichkeit verlöre; daher fertigt man auch in der Jetztzeit die sogenannten kupfernen Scheidemünzen nicht aus dem unlegierten Metalle, sondern aus seiner Legierung mit Zinn und Zink. Deutsche, französische, schwedische, englische und andere Kupferscheidemünzen enthalten 95 v. H. Kupfer, 4 v. H. Zinn, 1 v. H. Zink. Der Zinngehalt von 4 v. H. genügt erfahrungsmäßig, ihnen die für den Umlauf er-

forderliche Härte zu geben; ein höherer Zinngehalt würde die Verarbeitung, insbesondere die Herstellung des Gepräges, durch Abminderung der Geschmeidigkeit erschweren. Der Zinkgehalt erhöht die Gießbarkeit und erleichtert die dadurch bei der Anfertigung zuerst erforderliche Arbeit, die Herstellung gegossener dünner Platten (Zaine).

Auch zu Schau- und Preismünzen ist die Bronze seit lange mit Vorliebe benutzt worden. Die hierfür benutzten Legierungen besitzen gewöhlich eine ähnliche Zusammensetzung wie die für Scheidemünzen. In Frankreich pflegt man eine Bronze mit 5 v. H. Zinn oder Zink zu benutzen; mitunter auch, z. B. in England, finden noch zinnreichere (8 bis 10 v. H. Zinn) Verwendung, welche zwar an und für sich ziemlich hart und spröde sind, deren Prägbarkeit aber sich nach früherem durch Glühen und Ablöschen in kaltem Wasser erhöhen läßt. Da von derartigen Münzen stets nur eine beschränkte Zahl gefertigt wird, kommt die Erschwerung des Prägens, welche der höhere Zinngehalt mit sich bringt, weniger in Betracht, als es bei Scheidemünzen der Fall sein würde. Die dunkelbraune mattglänzende Farbe, mit welcher diese Münzen in die Öffentlichkeit gebracht werden, wird durch eine chemische Behandlung nach dem Prägen (Sieden in gewissen Lösungen, welche eine dünne Schicht von Kupferoxydul auf der Oberfläche hervorrufen) erzeugt.

h) Maschinenbronze.

Ihrer bedeutenden und leicht zu regelnden Härte und Festigkeit halber bildet die Bronze einen vielfach benutzten Stoff für Maschinenteile verschiedener Art, für welche Eisen oder Stahl ihrer Neigung zu rosten halber oder aus

anderen Gründen weniger brauchbar erscheinen. Hierher gehören z. B. Pumpenteile, Vertile, Hähne u. dergl. m. Besonders häufig findet die Bronze auch Verwendung für solche Teile, welche mit eisernen Teilen sich in steter Reibung befinden: Lagerpfannen, Schieber für Dampfzylinder, Kolbenringe, Exzenterbügel u. a. Für die Wahl der Bronze statt des billigeren Eisens ist hier zum Teil der Umstand maßgebend, daß bei entsprechender Zusammensetzung der ersteren geringere Reibung als bei der Reibung von Eisen auf Eisen zu erzielen ist; hauptsächlich jedoch fällt die Tatsache ins Gewicht, daß, wenn zwei Teile aus dem gleichen Stoffe sich reiben, sie auch der Abnutzung in annähernd gleichem Maße unterworfen sind und deshalb beide nach kürzerer oder längerer Zeit der Auswechslung unterzogen werden müssen, während nur einseitige Abnutzung stattfindet und Auswechslung erforderlich wird, wenn der eine Körper weicher als der andere ist. Man fertigt also dasjenige der beiden Teile, dessen Auswechslung die geringsten Kosten verursacht, aus Bronze und sucht die Zusammensetzung der Bronze so zu regeln, daß der Zweck, das kostspieligere Stück vor Abnutzung zu schützen, zwar möglichst vollständig erreicht wird, ohne daß aber die Bronze selbst einer unnötig raschen Abnutzung unterworfen ist.

Da die sämtlichen hierher gehörigen Teile durch Gießen gefertigt werden, ein übermäßig hoher Härtegrad aber ihrem Zwecke in den meisten Fällen nicht einmal entsprechen würde, pflegt man mehr oder minder reichliche Mengen von Zink zuzusetzen, so daß die Zusammensetzung oft mit derjenigen der Kunstbronzen übereinstimmt; auch hat man, wie bei diesen, einen mäßigen Bleizusatz bisweilen als zweckmäßig gefunden, wodurch die schon be-

sprochenen Vorteile — Leichtgießbarkeit und Leichtbearbeitbarkeit durch schneidende Werkzeuge — erreicht werden, während allerdings die Brüchigkeit erhöht wird. Für Maschinenteile, welche dem Zerbrechen leicht unterworfen werden, ist deshalb ein hoher Bleizusatz nachteilig; auch ein bisweilen angewendeter Antimonzusatz muß Bedenken erwecken, dagegen scheint ein mäßiger Arsengehalt, den man früher für besonders gefährlich hielt, weniger bedenklich.[1])

Aus dem Gesagten folgt, daß die Zusammensetzung der Maschinenbronze ziemlich mannigfaltig sein kann und von dem jedesmaligen Zwecke abhängen muß. Zahlreiche im Betriebe erprobte Vorschriften sind für die verschiedenen, hierher gehörigen Legierungen empfohlen worden, von welchen folgende als Beispiel dienen mögen.

Tabelle 11.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei
Zähe Legierung für Ventile, Hähne und dergl.	88	12	3	—
Sehr zähe Legierung für Exzenterringe . .	90	12	2	—
Andere Legierung für Exzenterringe . . .	84	14	2	—
Dichte Legierung für Pumpenkörper und Ventilgehäuse	88	10	2	—
Alarmpfeifen für Lokomotiven	80	18	2	—
Dergleichen mit etwas dumpferem Tone .	81	17	2	—
Stopfbuchsen, Ventilkugeln	86,2	10,2	3,6	—
Schraubenmuttern für grobe Gewinde . .	86,2	11,4	2,4	—
Dichtungsringe für Dampfkolben	84	3	8,5	4,5
Dampfschieber	82	18	2	—
Getriebe, in welche Zähne geschnitten werden	88,8	8,5	2,7	—
Desgleichen	87,7	10,5	1,7	—
Desgleichen für Spinnmaschinen	90,0	10,0	—	—

[1]) Vergl. E. Heyn u. O. Bauer „Untersuchungen über Lagermetalle, Rotguß". Mitt. a. d. Kgl. Materialprüfungsamt 1911, Heft 2.

Legierung für mathematische und physikalische Geräte, den Veränderungen durch Temperaturwechsel wenig unterworfen . . .	82	13	5	—
Legierung für feinere Gewichte, Reißzeuge, Wagebalken	90	8	2	—

Über das Verhalten verschieden zusammengesetzter Bronzen als *Lagermetalle* wurden auf Veranlassung des *Franklin Institute* in Philadelphia durch *Dudley* im Jahre 1892 eine Reihe verschiedener Versuche angestellt.[1]) Man fand, daß ein nicht allzu geringer Bleigehalt die Abnutzung der Bronze verringere, die Gießbarkeit erhöhe. Beispiele verschiedener Lagermetalle folgen hierunter; die zuletzt erwähnte Legierung (Lagermetall der Pennsylvania-Railroad-Co.) ist diejenige, welche nach *Dudleys* Versuchen sich für diesen Zweck am besten bewährte.

Tabelle 12.

	Kupfer	Zinn	Zink	Blei
Zähes Lagermetall	86	14	2	—
Lagermetall für französische Eisenbahnwagen	82	18	2	—
Lager für Lenkstangen	82	16	2	—
(Da diese Lagerpfannen dem Zerbrechen durch die Stöße der Lenkstangen leichter ausgesetzt sind, ist der Zinngehalt etwas geringer genommen als bei der vorigen Legierung).				
Lokomotiv-Aschenlager	82	10	8	—
Andere Vorschrift für Lokomotivachsenlager, welche außer den angegebenen Metallen auch 0,5 v. H. Eisen enthielten und durch mehrjährige Dauer erprobt waren . . .	73,5	9,5	9,5	7,5
Stephensons Lagermetall für Lokomotivachsen	79	8	5	8
Lagerschalen der Preußischen Eisenbahnen .	84	15	1	—
Lagermetall der Pennsylvania-Railroad-Co. .	77	8	—	15

[1]) Journal of the Franklin Institute 1893; daraus Dinglers Polyt. Journal, Bd. 290, S. 84.

Die Materialvorschriften der Deutschen Kriegsmarine[1]) stellen an die verschiedenen für Schiffszwecke verwendeten Bronzen folgende Ansprüche:

Tabelle 13.

Bezeichnung	Hauptverwendungszweck	Zusammensetzung: Kupfer %	Zinn %	Zink %	Zerreißprobe: Zerreißfestigkeit kg/qmm wenigst.	Bruchdehnung % wenigst.	Kaltbiegeprobe: Biegewinkel Grad wenigstens
B	Kleinere Lagerschalen (nicht mit Weißmetall ausgegossen)	83	12	5	18	3	10
C	Größere Lagerschalen (nicht mit Weißmetall ausgegossen)	85	11	4	18	4	20
D	Für dickwandige Stücke wie Propellernaben	86	8	6	20	15	45
E	Für Ventile, Schieber, Hähne, Krümmer, Stutzen, Wellenüberzüge, Wellenrohre, Wellenböcke, Pumpengehäuse, Pumpenkörper, Kondensatorvorlagen, Schneckenräder, Maschinenzubehörteile, Lager welche mit Weißmetall ausgegossen werden usw.	86	10	4	20	10	30
F	(wie E)	87	8,7	4,3	18	15	45

[1]) Ausgabe 1908.

Bezeichnung	Hauptverwendungszweck	Zusammensetzung			Zerreißprobe		Kaltbiegeprobe
		Kupfer %	Zinn %	Zink %	Zerreißfestigkeit kg/qmm wenigst.	Bruchdehnung % wenigst.	Biegewinkel Grad wenigstens
G (Gunmetal)	Größere Lagerschalen (nicht mit Weißmetall ausgegossen)	88	11	1	20	10	20
H	Für Steven, Wellenböcke, Wellenrohre usw.	88	8	4	20	15	45
I	Für Bodenventile usw.	90	7	3	20	15	45
K	Für Rohrflanschen und sonstige Teile, welche hart gelötet werden müssen	91	7	2	20	20	45
L		91	5	4	20	20	45

i) Phosphorbronze, Manganbronze, Siliziumbronze.

In den früheren Erörterungen ist bereits mehrfach des Umstandes gedacht worden, daß man mitunter den Metallen Zusätze gibt, welche nicht sowohl den Zweck haben, eine unmittelbare Beeinflussung ihrer Eigenschaften herbeizuführen, als vielmehr chemisch einzuwirken, indem sie vorhandene, in dem Metallbade gelöste Oxyde, welche das Verhalten nachteilig beeinflussen, zerstören. Alles Handelskupfer enthält Kupferoxydul; legiert man es

mit Zinn, so entsteht nach Untersuchung von Heyn und Bauer[1]) Zinnsäure,

$$(2\,Cu_2O + Sn = 4\,Cu + SnO_2),$$

welche zwar im flüssigen Metalle unlöslich ist, aber auch nicht ausgeschieden wird, sondern schwebend erhalten wird und das Verhalten der Legierung schädigt, insbesondere sie dickflüssig macht und ihre Festigkeit schmälert. Die in der Überschrift genannten Bronzen sind Zinnkupferlegierungen, deren Sauerstoffgehalt man durch Zusatz von Phosphor als Bestandteil eines Phosphormetalls ausgeschieden hat, wobei unlösliche, aus dem flüssigen Metalle austretende Phosphate entstehen.

Von der wohltätigen Einwirkung welche ein geringer Phosphorzusatz zu geschmolzenen Bronzen hervorzubringen vermag, ist, wie de Ruolz und Fontenay versichern[2]), in französischen Geschützgießereien schon seit 1854 Anwendung gemacht worden, ohne daß jedoch Mitteilungen darüber in die Öffentlichkeit gebracht worden sind; allgemeinere Anwendung fand das Verfahren erst infolge der umfassenden Versuche, welche seit 1869 durch Künzel über das Verhalten solcher mit Phosphorzusatz bereiteter Bronzen angestellt worden sind.[3]) Künzel war es auch, welcher diesen Bronzen den Namen Phosphorbronze beilegte.

Wollte man die Phophorbronze durch Zusatz reinen Phosphors zu dem geschmolzenen Metalle bereiten, so würde wegen der Leichtoxydierbarkeit und Flüchtigkeit dieses Körpers ein sehr erheblicher Teil davon, ohne seinen

---

[1]) Mitteilungen a. d. Kgl. Materialprüfungsamt Groß Lichterfelde 1904, S. 137.

[2]) Comptes rendus Bd. 73, S. 1468.

[3]) K. Künzel, Ueber Bronzelegierungen, Dresden 1875.

Zweck zu erfüllen, an der Luft verbrennen oder in der hohen Schmelztemperatur der Bronze verdampfen; aber das Verfahren würde dadurch unsicher, kostspielig und wegen der Phosphordämpfe gefährlich für die Gesundheit der Arbeiter werden. Man zieht deshalb vor, eine schon fertige Legierung von Kupfer oder Zinn mit viel Phosphor, also Phosphorkupfer oder Phosphorzinn, welche beide im Handel zu haben sind, als Zusatz zu benutzen.

Phosphorkupfer mit einem Phosphorgehalte bis zu 16 v. H. läßt sich durch Schmelzen von zwei Teilen gekörntem Kupfer mit vier Teilen Kalziumphosphat unter Zusatz von ein Teil Kohle und etwas Kieselsäure bei Weißglut darstellen, doch sind auch noch andere Verfahren für die Herstellung in Anwendung[1]). Es ist gelblich grau, hart, spröde. Phosphorzinn mit 8 bis 9 v. H. Phosphor wird durch Auflösen von Phosphor im geschmolzenen Zinn gewonnen (dessen Schmelztemperatur tiefer liegt als die Verdampfungstemperatur des Phosphors, so daß keine bedeutenden Verluste stattfinden). Es ist weiß, grobkristallinisch. Beide Legierungen werden von einzelnen Fabriken im Großen erzeugt und in den Handel gebracht. Pposphorkupfer wird jedoch häufiger als Phosphorzinn als Zusatz zur Bereitung der Phosphorbronze benutzt; letzteres entläßt, zumal wenn sein Phosphorgehalt einigermaßen beträchtlich ist, einen Teil davon durch einfache Verflüchtigung in der höheren Temperatur der geschmolzenen Bronze.

Durch den Phosphorzusatz wird die Bronze dünnflüssiger, gewinnt also an Gießbarkeit, außerdem härter,

---

[1]) Vergl. auch „Kupfer und Phosphor" von E. Heyn u. O. Bauer Metallurgie 1906, Bd. 4, Heft 8–9.

fester und gegenüber chemischen Einflüssen widerstandsfähiger.

Als durchschnittliches Ergebnis einer größeren Zahl vergleichender Versuche hat man gefunden, daß die Festigkeit der reinen Zinnbronzen mit einem Zinngehalte bis zu 10 v. H. durch einen entsprechenden Phosphorzusatz um ungefähr 30 v. H. des Maßes, welches sie ohne den Phosphorzusatz besaßen, gesteigert werden kann, ohne daß die Zähigkeit, gemessen durch die beim Zerreißen eingetretene Ausdehnung, erhebliche Einbuße erleidet.[1]) Man hat ferner beobachtet, daß Pposphorbronze durch Schwefelsäure nur halb so stark, durch Seewasser nur ungefähr ein Drittel so stark angegriffen wird, als bestes reines Kupfer,[2]) während allerdings Vergleiche mit gewöhnlicher Bronze nicht angestellt zu sein scheinen.

Auch Diegels Versuche[3]) weisen darauf hin, daß Zusatz von Phosphor die Beständigkeit der Zinnbronze in Seewasser zu erhöhen scheint.

Diese Eigenschaften verdankt die Phosphorbronze der durch den Phosphorzusatz stattfindenden Ausscheidung des Sauerstoffs; ein großer Überschuß des Phosphors würde nicht allein nutzlos sein, sondern geradezu den entgegengesetzten Erfolg, als beabsichtigt war, hervorbringen: die Bronze würde spröde und brüchig werden und an Brauchbarkeit einbüßen. Daher findet man in guter Phosphorbronze höchstens einige Tausendstel Gewichtsteile Phosphor, und der Ausdruck Phosphorbronze ist nicht glücklich

---

[1]) Vergl. Künzels genanntes Buch; ferner Ledebur, Metallverarbeitung S. 76.

[2]) Glasers Annalen Bd. 16, S. 32.

[3]) „Die Beständigkeit der gebräuchlichsten Kupferlegierungen im Seewasser“ von Diegel. Marinerundschau 9. Jahrg., Juli bis Dezember 1898, S. 1485.

gewählt. Er muß den Unkundigen zu der Annahme verleiten, daß hier eine Legierung mit reichlichem Phosphorgehalt vorliege, deren Eigenschaften unmittelbar durch den Phosphorgehalt bedingt seien.

Die hauptsächlichste Verwendung findet die Phosphorbronze bei dem Gusse von Maschinenteilen, wo ihre Leichtgießbarkeit und ganz besonders ihre höhere Festigkeit in Betracht kommen. Man schmelzt hierbei in einem neuen Graphittiegel die Bestandteile der Bronze unter Zusatz einer solchen Menge Phosphorkupfer, daß die Sauerstoffausscheidung bewirkt wird, ein großer Phosphorüberschuß aber nicht zurückbleibt, hält während des Schmelzens das Metall mit etwas Holzkohle bedeckt, um neue Oxydation zu vermeiden, und rührt vor dem Ausgießen gut um. Bei Benutzung von Phosphorkupfer mit 9 v. H. Phosphor werden beispielsweise folgende Beschickungen als geeignet empfohlen[1]).

	Phosphor-kupfer	Reines Kupfer	Zinn	Zink
Dampfschieber für Lokomotiven	3,50	77,85	11,00	7,65
Pleuelstangen-Lager	3,50	74,50	11,00	11,00
Wagenachsen-Lager	2,50	72,50	8,00	17,00
Desgleichen	1,50	73,50	6,00	19,00
Kolbenstangen für Wasserdruck-Zylinder	3,50	83,50	8,00	5,00

Der geringe Zusatz von Phosphorkupfer bei den Legierungen für Wagenachsenlager findet seine Erklärung in dem höheren Zinkgehalte. Die Menge der sauerstoffhaltigen Metalle ist geringer; Zink selbst aber vermag eine gleiche Einwirkung als Phosphor wenn auch in schwächerem Maße auszuüben, d. h. die gelösten Oxyde zu zerlegen. Im übrigen fand D u d l e y bei seinen auf Seite 128 erwähnten Versuchen über das Verhalten verschiedener Lager-

[1]) Wagners Jahresbericht d. chem. Technologie 1879, S. 185.

metalle, daß selbst Phosphorbronze sich für diese Verwendung nicht so gut bewährte, als die von ihm benutzte bleireiche Bronze ohne Phosphorzusatz.

Außer für Maschinenguß hat man Phosphorbronze für Schiffsbleche, Torpedos, Hochofenformen und andere Gegenstände, welche chemischen Einwirkungen unterworfen sind, mit Erfolg benutzt, auch hier und da für Grubenseile, wobei im Vergleiche zu den Eisen- und Stahldrahtseilen die größere Widerstandsfähigkeit der Phosphorbronze gegen Rosten, im Vergleiche zu gewöhnlichen Bronzedrahtseilen und ihre größere Festigkeit von Belang ist. Die Materialvorschriften der deutschen Kriegsmarine sehen für Unterwasserteile der Torpedoarmierungen, Flügelräder für Kreiselpumpen usw. zwei verschiedene Phosphorbronzen, A und B, vor. A soll 89 % Kupfer, 10 % Zinn und 1 % Phosphorkupfer (10 prozentig), B 87 % Kupfer, 12 % Zinn und ebenfalls 1 % Phosphorkupfer (10 prozentig) enthalten.

Bei der Verwendung von Kunstbronzen wird gerühmt, daß durch den Phosphorzusatz ein wärmerer Farbenton erzielt werde; doch ist die Benutzung hierfür seltener geblieben, als für Maschinenguß. Auch für Geschützbronze ist der Phosphorzusatz in einzelnen Ländern, nicht aber allgemein, eingeführt worden.

Schmelzt man im Flammofen, wie es beim Bildsäulen- und Geschützguß der Fall ist, so setzt man das zur Bildung der Phosphorbronze bestimmte Phosphorkupfer erst dem geschmolzenen Metalle zu, um zu vermeiden, daß unter der Oxydationswirkung der Feuergase der Phosphor vollständig verbrenne und eine Neubildung von Metalloxyden stattfinde.

Eine gleiche Wirkung als durch einen beschränkten Phosphorzusatz zu geschmolzener Bronze läßt sich durch

Mangan hervorrufen: die gelösten Oxyde werden zerlegt und Manganoxydul scheidet aus. Bronze in dieser Weise bereitet, hat man Manganbronze genannt.

Metallisches Mangan mit einem Mangangehalt von 96 v. H. oder etwas darüber läßt sich durch Reduktion des Manganoxyduls oder Oxyduloxyds mit Aluminium erhalten oder man benutzt Mangankupferlegierungen, welche durch Schmelzen von Kupfer mit Manganoxyden und Kohle im Tiegel bei sehr hoher Temperatur gewonnen werden, und deren Mangangehalt bis 30 v. H. zu betragen pflegt[1]). Sie haben bei höherem Mangangehalte weiße, bei geringerem Mangangehalte gelbliche Farbe und enthalten gewöhnlich kleine Mengen von Eisen und Kohle, z. B. nach Untersuchungen des Verfassers:

	Mangan	Kupfer	Eisen	Kohlenstoff
Gelblich-graue Legierung . .	13,48	83,45	1,24	0,11
Gelblich-weiße Legierung . .	16,86	81,03	1,67	0,06

Bei der Bereitung der Manganbronze pflegt man zunächst das Kupfer und Altmetall mit dem Mangankupferzusatze im Tiegel einzuschmelzen, dann das erforderliche Zinn zuzufügen und mit einem aus Retortengraphit gefertigten Stabe gut umzurühren. Während des Schmelzens wird der Tiegelinhalt ebenso wie beim Schmelzen von Kupferbronze mit Kohlenpulver bedeckt.

Die Höhe des Zusatzes ist von seinem Mangangehalte abhängig und beträgt, sofern man wie bei der Phosphorbronzedarstellung nur die Sauerstoffentziehung bezweckt, 3 bis 6 v. H. In diesem Falle bleiben nur geringe Mengen Mangan in der Legierung zurück. Ein überschüssiger

---

[1]) Das in Eisenhochöfen gewonnene Eisenmangan ist wegen seines Eisen- und hohen Kohlenstoffgehalts für diesen Zweck nicht brauchbar.

Mangangehalt benachteiligt jedoch weniger als ein Phosphorgehalt die Eigenschaften der Legierung, wirkt vielmehr ähnlich wie Zinn, d. h. steigert die Härte und Festigkeit, weniger rasch aber als Phosphor die Sprödigkeit[1]). Man hat hiervon mitunter Anwendung gemacht, um den Zinngehalt der Bronzen teilweise oder ganz durch Mangan zu ersetzen, und solcherart Manganbronzen im eigentlichen Sinne dargestellt, aus Mangan und Kupfer, oder Mangan, Kupfer und Zinn, oder auch Mangan, Kupfer, Zinn und Zink mit einem Mangangehalte bis zu 10 v. H. bestehend, welche bestimmt sein sollten, an Stelle der gewöhnlichen manganfreien Bronze für verschiedene Zwecke, insbesondere für Herstellung von Maschinenteilen, verwendet zu werden[2]).

Sehr gut haben sich Kupfer-Manganlegierungen mit etwa 5 bis 6 % Mangan als Stehbolzenmaterial für Lokomotivkessel bewährt. Während die Festigkeit des reinen Kupfers bei 200° C. (ungefähre Temperatur eines Lokomotivkessels) bereits deutliche Abnahme zeigt, wiesen Mangan-Kupferlegierungen nach Versuchen von Rudeloff[3]) bei dieser Temperatur fast die gleiche Festigkeit wie bei 15° C. auf. Zum Vergleich sind in nachstehender Tabelle 14 die Festigkeitseigenschaften von Mangankupfer bei verschiedenen Temperaturen mit derjenigen des Kupfers —

---

[1]) Einige Zahlenwerte für die Festigkeitseigenschaften der Kupfermangan- und Kupfermanganzinnlegierungen findet der Leser in Künzel, Bronzelegierungen und hieraus entnommen in Ledebur, Metallverarbeitung, S. 38.

[2]) Metallarbeiter 1880, S. 194.

[3]) Neuere Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften der Manganbronze in verschiedenen Temperaturen; Mitteilungen der Kgl. Technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1893, S. 292 und 1895 S. 29; Sitzungsberichte des Vereins für Beförderung des Gewerbefleißes 1903, S. 277.

beide Materialien gewalzt in üblicher Stehbolzenqualität — nebeneinander gestellt:

Tabelle 14.

	Kupfer bei					Reine Manganbronze bei				
	15°	100°	200°	300°	400°	15°	100°	200°	300°	400°
Festigkeit in kg/qmm . .	23,7	21,0	17,5	15,7	9,7	35,9	35,6	35,7	33,5	25,9
Dehnung % . .	41,6	45,2	44,8	40,1	28,4	40,0	32,4	36,5	37,1	23,7
Querschnittsverminderung . .	67,0	68,5	69,0	52,7	30,0	72,7	60,2	52,4	51,9	—

In England sollen Manganbronzen mit etwa 12 und mehr Prozent Mangan für Marinezwecke Verwendung finden. Diese Legierungen haben bereits eine graue Farbe, sie besitzen im gewalzten bezw. geschmiedeten Zustande bei großer Härte eine Festigkeit von 40 bis 52 kg/qmm bei 25 bis 8 % Dehnung. Nach Versuchen von Rudeloff haben auch diese Legierungen bei Temperaturen bis etwa 350° C dieselbe Festigkeit wie bei Zimmerwärme.

Dennoch ist die Benutzung von Manganbronzen nur ziemlich vereinzelt geblieben und hat keineswegs die Ausdehnung erlangt, wie diejenige der Phosphorbronze. Die Gründe dafür sind verschieden. Zunächst kommt in Betracht, daß, wenn der Zusatz nur eine Sauerstoffentziehung bezweckt, man zur Erreichung des Zweckes ungefähr die vierfache Menge Mangan als Phosphor nötig hat, wodurch das Verfahren trotz des niedrigen Preises des Mangans verteuert wird. Ein Ersatz des Zinns durch Mangan in der Bronze aber ist hinsichtlich des Geldpunktes noch weniger vorteilhaft, da der Preis des Mangans sich höher beziffert als der des Zinns, während immerhin die Einwirkung des Mangans auf

die Festigkeitseigenschaften der Legierung nicht ganz jenes Maß besitzt, wie die des Zinns; endlich bleibt auch zu berücksichtigen, daß ein Zinngehalt die Schmelztemperatur der Legierung abmindert, ein Mangangehalt sie aber steigert, die Zinnbronze demnach leichter gießbar ist, als Manganbronze.

Für den Bau elektrischer Meßinstrumente und Nebenschlußwiderstände haben Mangan-Nickel-Kupferlegierungen unter dem Namen Manganin Eingang gefunden[1]). Das Manganin der Isabellenhütte in Dillenburg hat einen spezifischen Widerstand von etwa 43 Mikrohom, einen Temperaturkoeffizienten $= \pm$ 0,00001 und eine außerordentlich kleine Thermokraft gegen Kupfer.

Heusler[2]) erkannte als erster, daß die Metalle der Arsengruppe (Wismut nicht ausgeschlossen) mit Mangan bezw. Mangankupfer magnetische Legierungen geben. Die Legierungen sind als Heusler'sche Manganbronzen bekannt. Am günstigsten verhalten sich bezüglich der Magnetisierbarkeit Mangan-Aluminium-Kupferlegierungen. Die Magnetisierbarkeit steigt bei gleichem Mangangehalt mit steigendem Aluminiumgehalt[3]). Eine ausgezeichnete Arbeit über Kupfer-Aluminium- und Mangan-Legierungen ist von W. Rosenhain und Lautsberry erschienen (Ninth Report to the Alloys researsch Committee of the institution of Mechanical Engineers 1911).

[1]) Das zur Herstellung elektrischer Widerstände dienende Manganin enthält: 82,12 % Kupfer, 15,02 % Mangan, 2,29 % Nickel und 0,57 % Eisen.

[2]) Sitzungsbericht des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 1903, S. 277.

[3]) Berichte der Deutsch. Phys. Ges. 5 (1903) 219; 220 Schriften der Gesellschaft z. Bef. der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg, Bd. 13 (1904).

Bisweilen hat man als sauerstoffentziehendes Mittel beim Kupfer- und Bronzeschmelzen auch das Silizium in Anwendung gebracht und dem Erzeugnisse, selbst wenn es kein Zinn enthält, sondern nur aus Kupfer mit einem kleineren oder größeren Siliziumgehalte besteht, die sehr unglücklich gewählte Benennung Siliziumbronze gegeben. Schon 1857 stellten Deville und Caron Siliziumkupfer mit einem Siliziumgehalte bis zu 12 v. H. durch Schmelzen von Kupfer mit Kieselfluorkalium und Natrium dar, erwähnten jedoch, daß man das Ziel auch durch Schmelzen von Kupfer mit Sand und Kochsalz (Seesalz) erreichen könne[1]. Sie empfahlen die durch große Härte sich auszeichnende Legierung zur Herstellung von Geschützen und anderen Gegenständen, ohne daß jedoch vorläufig eine Anwendung des Verfahrens gemacht zu sein scheint. Erst in den achtziger Jahren nahm L. Weiller in Angoulême die Herstellung und Anwendung des Siliziumkupfers als verbessernden Zusatz zum Kupfer wie zur Bronze wieder auf, und seitdem sind auch verschiedene andere Verfahren zu seiner Darstellung vorgeschlagen worden[2].

Siliziumkupfer mit 12 v. H. Silizium ist hart wie Stahl, weiß und spröde; mit abnehmendem Siliziumgehalte wird die Legierung rötlich und weniger hart. Die Schmelztemperatur jener siliziumreichen Legierung liegt tiefer als die des Silbers[3].

Eigentliche, d. h. zinnhaltige Siliziumbronze hat nur vereinzelte Verwendung gefunden. Meistens ist, was

---

[1] Comptes rendus Bd. 45, S. 143.

[2] Deutsche Reichspatente Kl. 40, Nr. 20667, 27570 und 36607; auch Dinglers Polyt. Journal, Bd. 272, S. 444.

[3] Das Erstarrungsdiagramm der Kupfer-Siliziumlegierungen ist von Rudolfi festgestellt. Ztschr. anorg. Chem. 53, 223, 1907.

unter diesem Namen in den Handel kommt, Kupfer, dessen Festigkeit man erhöhte, indem man ihm beim Schmelzen eine gewisse Menge jenes Siliziumkupfers zufügte und solcherart seinen Sauerstoffgehalt entzog. Man benutzt es vorwiegend für Telegraphen- und Telephondrähte, welche vor den Eisendrähten sich durch größere Leitungsfähigkeit, vor den gewöhnlichen Kupferdrähten durch größere Festigkeit auszeichnen, den letzteren aber an Leitungsfähigkeit nachstehen, weil diese durch den zurückbleibenden geringen Siliciumgehalt stärker als durch den im gewöhnlichen Kupfer anwesenden Sauerstoffgehalt geschwächt wird (vergleiche Seite 77).

Nachstehende Zusammenstellung zeigt die chemische Zusammensetzung, Leitungsfähigkeit und Festigkeit solcher als Siliziumbronze bezeichneten Drähte[1]):

	Kupfer	Zinn	Silizium	Eisen	Zink	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Leitungsfähigkeit
Gewöhnliche Kupferdrähte	—	—	—	—	—	28,0 kg	100
Telegraphendrähte aus Siliciumbronze	99,94	0,03	0,03	Spur	—	45,0 „	98
Telefondrähte aus Siliciumbronze	97,12	1,14	0,05	„	1,12	83,0 „	34

k) Aluminiumbronze.

Daß ein Aluminiumzusatz zum Kupfer dessen Eigenschaften in ähnlicher Weise, aber noch kräftiger, beeinflusse als ein Zinnzusatz von gleichem Gewichte, wurde schon früher mehrfach hervorgehoben (vergl. u. a. Abb. 16).

[1]) Nach Hampe: Chemikerztg. 1888, daraus Metallarbeiter, 1888 S. 423.

Festigkeit und Härte werden erheblich gesteigert, Zähigkeit und Geschmeidigkeit abgemindert. Die rote Farbe des Kupfers geht schon bei ziemlich niedrigem Aluminiumgehalte in goldgelb über.

Die Aluminiumkupferlegierungen verhalten sich demnach den Zinnbronzen ähnlich und sind unleugbar für gewisse Zwecke, wo es sich um Erzielung eines besonders hohen Maßes von Festigkeit und Härte handelt, noch tauglicher als diese. Die Benennung Aluminiumbronze hat deshalb volle Berechtigung.

Wie das Zinn zerstört das Aluminium bei einem Zusatze zum Kupfer dessen Kupferoxydulgehalt; aber das entstehende Aluminiumoxyd ist, selbst wenn es von dem flüssigen Metalle zurückgehalten werden sollte, der Einwirkung von Sulfiden gegenüber unzugänglich und die Hauptursache der beim Gießen stattfindenden Gasentwickelung wird dadurch beseitigt (Seite 65), für manche Verwendungen ist fernerhin der Umstand günstig, daß das spezifische Gewicht der Aluminiumbronze etwas, wenn auch nicht erheblich, niedriger ist als das der Zinnbronze[1]) Man hat außerdem gefunden, daß die Aluminiumbronze gegen manche chemische Einflüsse, z. B. gegen den des Meerwassers, widerstandsfähiger ist als ähnliche Legierungen, z. B. Zinnbronze mit gleichem Kupfergehalte[2]), und daß sie in einer Temperatur zwischen dunkler und heller Rotglut sich gut schmieden läßt.

Seitdem man überhaupt Aluminium metallisch darstellt, ist man dieser unleugbaren Vorzüge der Aluminiumbronze halber bemüht gewesen, ihr Anwendung für ge-

[1]) Spezifisches Gewicht der Aluminiumbronze mit 10 v. H. Aluminium = 7,6, der Bronze mit 10 v. H. Zinn = 8,6.

[2]) Versuche hierüber: Die Anlagen der Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft zu Neuhausen 1890, S. 106.

werbliche Zwecke zu verschaffen. Anfänglich stand der hohe Preis des Aluminiums einer ausgedehnteren Verwendung der Legierung entgegen; aber auch, nachdem dieser auf ein Maß gesunken ist, daß kaum noch ein erheblicher Preisunterschied der beiden Bronzegattungen obwaltet, ist die Verwendung der Aluminiumbronze seltener geblieben als die der Zinnbronzen. Verschiedene Umstände liefern die Erklärung hierfür.

Zunächst kommt hier in Betracht, daß das Schwindmaß der Aluminiumbronze beim Gießen annähernd doppelt so groß ist als dasjenige der für gleiche Zwecke benutzbaren Zinnbronzen. Dadurch wird die Entstehung von Saugstellen beim Gießen befördert, also die Erzielung dichter Abgüsse erschwert; auch ein Reißen der Abgüsse beim Erkalten kann die Folge der starken Schwindung sein.

Bei der Berührung der flüssigen Aluminiumbronze mit der atmosphärischen Luft, selbst während des Gießens, entsteht Aluminiumoxyd, welches im Metalle zwar unlöslich ist, aber leicht mitgerissen wird und den Zusammenhang des Abgußes unterbricht. Wenn man auch imstande ist, durch Anwendung gewisser Kunstgriffe bei der Herstellung der Gußformen und beim Gießen dem Übelstande entgegen zu wirken, so wird immerhin auch hierdurch das Gießverfahren erschwert. Benutzt man Graphittigel zum Schmelzen, so tritt Aluminium aus und Silicium, welches aus den Tigelwänden durch jenes reduziert wurde, tritt dafür ein. Das Verhalten der Bronze kann dadurch ungünstig beeinflußt werden.

Die im frischen Zustande prächtige Farbe der Aluminiumbronze ändert sich unter den Witterungseinflüssen in weniger vorteilhafter Weise als die der Zinnbronzen.

Auch bei Berührung mit den Händen nimmt sie bald ein unschönes Aussehen an.

Es fehlt demnach in den meisten Fällen die genügende Veranlassung, die Zinnbronze durch die weniger leicht verarbeitbare Aluminiumbronze zu ersetzen. Man benutzt sie mitunter für Maschinenteile, welche ein hohes Maß von Härte und Festigkeit besitzen sollen, für Schiffsbeschläge, Waffenteile und einige andere Zwecke. Der Aluminiumgehalt pflegt in diesen Fällen 3 bis höchstens 10 v. H. zu betragen. Beim Überschreiten dieses Maßes wird die Legierung so spröde, daß sie sich für keine Verwendung mehr eignet.

Die für technische Zwecke am besten geeigneten Kupfer-Aluminiumlegierungen enthalten etwa 90 bis 95 % Kupfer und 10 bis 5 % Aluminium. Sie lassen sich zu dünnem Blech auswalzen, mit dem Hammer bearbeiten und nehmen infolge ihrer bedeutenden Härte hohe Politur an.

1. Stahlbronze.

Die Bezeichnung „Stahlbronze“ ist in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zuerst durch den österreichischen Generalmajor Uchatius für Geschützbronze angewendet worden, welche nach einem bestimmten, sogleich zu erwähnenden Verfahren bearbeitet worden war; neuerdings ist sie leider auch auf Bronzegeräte anderer Art Obstmesser und dergleichen mehr, ausgedehnt worden. Niemals aber wurde eine Benennung unglücklicher gewählt als diese. Während nämlich Jedermann durch den Namen Stahlbronze zu der Meinung verleitet werden muß, daß es sich um eine Legierung des Eisens (Stahls), d. i. um eine eisenhaltige Bronze handele, bezieht sich der Ausdruck auf gewöhnliche Zinnbronze (Geschützbronze mit

8. v. H. Zinn), deren Härtegrad man durch mechanische Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur gesteigert hat. Bei jenen sogenannten Stahlbronzegeschützen geschieht diese Bearbeitung durch Eintreiben eines Stahlkolbens unter starkem Wasserdrucke in die vorher ausgebohrte, etwas engere Öffnung des Geschützrohrs und mehrmalige Wiederholung des Verfahrens mit immer stärkeren Kolben. Die Öffnung wird dadurch erweitert, das Metall wird bei dieser Bearbeitung an der Innenfläche des Rohrs härter und dadurch widerstandsfähiger gegen Abnutzung, während die äußeren Teile unbeeinflußt bleiben und ihre ursprüngliche Zähigkeit, welche das Rohr vor plötzlichem Zerspringen schützt, beibehalten[1]).

Bei den erwähnten kleineren Gegenständen geschieht die Bearbeitung, der sie ihre Bezeichnung verdanken, durch Schmieden mit dem Hammer oder unter Walzen. Bekanntlich wachsen bei einer solchen Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur die Festigkeit, Härte und Elastizität nicht nur der Bronze sondern auch der übrigen Metalle, während die Zähigkeit und Geschmeidigkeit sich verringern. Für manche Verwendungen wird demnach das Metall geeigneter.

Erst in neuerer Zeit stellt man auch Legierungen her, die einen absichtlich zugesetzten, mehr oder weniger hohen Gehalt an Eisen bezw. Stahl enthalten. Solche Legierungen dürften schon eher als Stahlbronzen bezeichnet werden, obgleich auch hier der Eisen- bezw. Stahlgehalt (ähnlich wie bei den Phosphor- und Siliciumbronzen) nur einen, der Menge nach untergeordneten Bestandteil der Legierung ausmacht. Inwieweit ein Eisengehalt die Eigenschaften der Bronze günstig beeinflußt, steht noch nicht

---

[1]) Dinglers Polyt. Journal Bd. 217, S. 122.

fest. In den Bronzen des Altertums findet man häufig recht beträchtliche Eisengehalte (Vergl. Seite 97).

m. Verschiedene „Bronzen".

Daß die Bezeichnung „Bronze" in der Technik kein feststehender Begriff ist, daß er vor allem nicht an das ausschließliche Vorhandensein von Kupfer und Zinn gebunden ist, dürfte aus dem in den Abschnitten a bis l gesagten zur Genüge hervorgehen. Vielfach werden aber auch Legierungen als Bronzen bezeichnet, die als Hauptbestandteile neben Kupfer noch Zink, Nickel, Eisen oder andere Metalle und nur sehr wenig, mitunter auch gar kein Zinn enthalten. die demnach besser in die weiter unten beschriebenen Legierungsgruppen einzureihen wären.

Hierher gehören z. B. die als Rübel-Bronzen[1]) bezeichneten Legierungen von Kupfer-Eisen-Nickel-Aluminium. Das Wesentlichste der Rübel-Bronzen, deren Zusammensetzung je nach Art ihrer Verwendung großen Schwankungen unterworfen ist, liegt darin, daß die einzelnen Metalle im einfachen oder mehrfachen Verhältnis ihrer Atomgewichte (nach Art der chemischen Verbindungen) zu einander stehen; es muß aber hervorgehoben werden, daß es sich hierbei n i c h t um wirkliche chemische Verbindungen handelt, wie vielfach angenommen wurde, sondern daß durch die Formeln lediglich die prozentuale Zusammensetzung angezeigt wird.

Formeln für Rübel-Bronzen sind z. B. $Cu_2\,Fe_2\,Ni\,Al$ mit 39,1 % Kupfer, 34,4 % Eisen, 18,1 % Nickel und 8,4 % Aluminium, ferner $Cu_2\,Fe_2\,Ni_2\,Al$ mit 33,2 % Kupfer, 29,1 % Eisen, 30,6 % Nickel und 7,1 % Aluminium.

---

[1]) Die Rübel-Bronzen besitzen Patentschutz.

Die Festigkeit dieser Legierungen ist eine sehr beträchtliche, auch lassen sie sich schmieden, walzen und ziehen.

Folgende als „Manganbronzen“ bezeichnete Legierungen[1]) gehören ihren Hauptbestandteilen nach eigentlich zu den Kupfer-Zinklegierungen:

	a	b	c
Kupfer . . .	56,— %	58,5 %	58,6 %
Zink	42,4 „	38,47 „	37,2 „
Eisen	1,25 „	1,30 „	2,02 „
Zinn	0,75 „	1,26 „	1,2 „
Aluminium . .	0,5 „	0,37 „	—
Mangan . .	0,12 „	0,10 „	0,42 „
Blei	—	—	0,72 „

a hat (gegossen) 49 kg/qmm Festigkeit bei 18 % Dehnung, b weist 52 bis 55 kg/qmm Festigkeit bei 24 bis 32 % Dehnung auf. Diese Legierungen finden ausgedehnte Verwendung zur Herstellung von Schiffspropellern. Heutzutage sind Propeller aus Gußeisen oder Stahlguß beinahe allgemein durch sie ersetzt, da sie neben hohen Festigkeitswerten auch gute Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff von Seewasser besitzen.

2. Messing, Tombak und verwandte Legierungen.

a) Allgemeines.

Sämtliche in der Überschrift bezeichnete Legierungen enthalten als Hauptbestandteile Kupfer und Zink. Der Einflüsse des Zinks auf die Eigenschaften des Kupfers ist schon mehrfach gedacht worden. Es macht das Kupfer

[1]) Brass World, Dez. 1905, S. 399. The Foundry, August 1908, S. 301 ff. Gießerei-Zeitung 1908, S. 651.

gießbar und innerhalb gewisser Grenzen bearbeitbar in der Kälte und in der Wärme. Nach Charpy[1]), Shepherd[2]), Tafel[3]) und anderen bestehen die Kupfer-Zinklegierungen aus 6 Arten von Mischkristallen (vergl Abb. 35). Die Legierung mit 39,33 % Kupfer und 60,66 % Zink (Schmelz- und Erstarrungspunkt etwa 830° C) zeichnet sich durch bedeutende Härte (Siehe Abb. 17 und 22) und Sprödigkeit aus, die Farbe ist silberweiß, aller Wahrscheinlichkeit nach entspricht sie der chemischen Verbindung $Cu_2\ Zu_3$. Zink steigert zwar in unerheblicherem Maße als Zinn die Festigkeit und Härte des Kupfers, verringert aber auch weit weniger als dieses die Geschmeidigkeit, und die Folge davon ist, daß, während Zinnbronzen, wie früher erwähnt, schon bei einem Zinngehalte von etwa 6 v. H. ihre Bearbeitungsfähigkeit in gewöhnlicher Temperatur verlieren, Zinkkupferlegierungen, sofern sie andere, die Geschmeidigkeit beeinträchtigende Körper nicht enthalten, noch bei einem Zinkgehalte von 50 v. H. in gewöhnlicher Temperatur mit einiger Vorsicht bearbeitbar sind. Geht der Zinkgehalt jedoch über dieses Maß hinaus, so wird die Legierung rasch vollständig spröde.

Weniger gut als manche Bronzen sind dagegen viele Zinkkupferlegierungen in Rotglut verarbeitbar. Nur einige mit bestimmtem Zinkgehalte und innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen, welche unten Erwähnung finden werden, ertragen die Bearbeitung im erhitzten Zustande, sie sind „schmiedbar". Die Verarbeitung durch Hämmern, Pressen, Walzen, Ziehen und dergleichen geschieht daher

---

[1]) G. Charpy, Étude microscopique des alliages métalliques; Bulletin de la Société d'Encouragement 1897, Märzheft.

[2]) E. S. Shepherd „The constitution of copper-zink-alloys" Journ. physc. chem. vol. 8, 1904, S. 421.



[3]) Tafel „Das System Zink-Kupfer", Metallurgie 5, 1908, S. 349.



fast immer kalt, und unleugbar bildet die Fähigkeit dieser Legierungen, ohne vorausgehende Erwärmung eine solche Bearbeitung zu ertragen, einen Vorzug. Bei dieser Bearbeitung selbst aber werden sie, wie die meisten in der Kälte verarbeiteten Metalle, hart und spröde, und ein öfter eingeschaltetes Ausglühen pflegt erforderlich zu sein, um ihnen die verlorene Geschmeidigkeit wieder zu verleihen[1]). Eine weitere, vielfach noch viel zu wenig beachtete Folge der Kaltbearbeitung (des Kaltwalzens, Kaltziehens usw.) ist das Auftreten von inneren Spannungen (Reckspannungen). Sie können unter Umständen so groß sein, daß Aufreißen des betreffenden Gegenstandes eintritt[2]). Das Aufreißen erfolgt oft erst lange Zeit nach dem Kaltrecken, zuweilen erst nach Jahren, vielfach scheinbar ohne äußern Anlaß. Begünstigt wird das Aufreißen durch folgende Umstände:

a) Durch zusätzliche Spannungen infolge der Einwirkung äußerer Kräfte (Schlag, Stoß usw.)

b) Durch zusätzliche Spannungen infolge ungleichmäßigen Erwärmens oder Abkühlens.

c) Durch Verletzungen der Oberfläche, durch mechanische Einwirkungen oder chemisch angreifende Stoffe.

---

[1]) Näheres über die mechanischen Eigenschaften der Zinkkupferlegierungen: Bulletin de la Société d'Encouragement 1896, S. 180; im Auszuge in Dinglers Polyt. Journal Bd. 313, S. 103 (Charpy). Vergl. auch die Fußnote S. 47.

[2]) Aehnlich liegen die Verhältnisse auch für andere Metalle und Legierungen. Vergl. hierüber sowie über ein Meßverfahren zur Ermittelung der Größenordnung der Spannungen in kaltgezogenen Rundstangen die Arbeit von E. Heyn und O. Bauer „Ueber Spannungen in kaltgereckten Metallen", Intern. Ztschr. f. Metallographie 1911, Bd. 1, Heft 1.

Durch geeignetes Erwärmen können die Reckspannungen aufgehoben werden, so daß Aufreißen nicht mehr zu befürchten ist. Bei kaltgereckten Messinggegenständen genügen bereits recht niedrige Wärmegrade, um diese günstige Wirkung hervorzubringen. Wie jedoch früher bereits erwähnt, wird durch Erwärmen kaltgezogenen Messings die Bruchgrenze wieder heruntergedrückt. Vielfach sind daher hier die Lieferungsbedingungen vom Übel, wenn sie derartig hohe Bruchgrenzen und Streckgrenzen für das Material vorschreiben, daß die Vorschriften nur infolge sehr weit getriebenen Kaltreckens erfüllbar sind. Vor solchen Vorschriften sollte man sich hüten. So mancher früher unaufgeklärt gebliebene Bruch von Messinggegenständen (Kondensatorröhren, Patronenhülsen, Bolzen usw.) dürfte auf die erwähnten Spannungen innerhalb des Materials zurückzuführen sein.

Vor dem Kupfer wie vor der Bronze besitzen die Kupfer-Zinklegierungen den Vorteil der größeren Billigkeit. Denn da das Zink einen erheblich niedrigeren Preis besitzt als Kupfer und Zinn, verringert sich mit zunehmendem Zinkgehalte auch der Preis dieser Legierungen. Hieraus, sowie aus der leichteren Bearbeitbarkeit erklärt es sich zur Genüge, daß für gewöhnlichere Zwecke die Zinkkupferlegierungen eine vielseitigere Benutzung gefunden haben und im Ganzen häufiger verwendet werden als das unlegierte Kupfer oder die Bronze. Nicht geeignet für die Verwendung würden sie sein, wenn die Erreichung eines hohen Maßes von Festigkeit und Härte für die Brauchbarkeit eines herzustellenden Gegenstandes von Wichtigkeit ist; also für alle jene oben besprochenen Zwecke, denen die Bronze eben wegen dieser Eigenschaften zu dienen hat.

b. Messing.

Die bekannteste und älteste der Zinkkupferlegierungen ist das Messing. Über den Ursprung des Namens findet man verschiedene Angaben. Nach dem deutschen Wörterbuche der Gebrüder Grimm entstammt das schon im Mittelalter gebräuchliche Wort der Bezeichnung „Messe" (lateinisch massa), das ist ein aus einem Schmelzverfahren hervorgegangener Metallklumpen. Andere leiten es ab von dem Namen der Mossynöken oder Messinöken, einem Volksstamme am Schwarzen Meere, welche nach Aristoteles zuerst diese Legierung dargestellt haben sollen[1]).

Jedenfalls war das Messing schon im Altertume den Römern bekannt und von ihnen vielfach verwendet, obschon man den einen Bestandteil der Legierung, das Zink, im reinen Zustande noch nicht kannte, auch keine Ahnung davon hatte, daß man es mit einer Vereinigung zweier Metalle zu tun habe. Man stellte es dar, indem man Kupfer mit Galmei, einem Zinkerze, und Kohle schmolz und betrachtete dieses Verfahren als eine Art von Färbung des Kupfers.

Bis gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts ist dieses uralte Verfahren der Messingdarstellung an verschiedenen Orten in Anwendung geblieben, obgleich schon 1742 van Swab darauf aufmerksam machte, daß man auch durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Zink Messing erzeugen könne, und 1781 Jacob Emmerson diese Darstellungsweise in den Betrieb einführte. Alte eingewurzelte Vorurteile stellten sich der raschen Einführung des neuen Verfahrens entgegen; insbesondere hielt man das in alter Weise gewonnene Messing für vorzüglicher.

---

[1]) Vergl. u. a. Berg- und Hüttenmännische Ztg. 1883, S. 59.

Man schmolz das Gemisch von Kupfer, geröstetem Galmei oder auch Zinkblende[1]) und Kohle im Tiegel, wobei ein für die unmittelbare Verwendung noch nicht geeignetes Messing Arko oder Rohmessing genannt, erfolgte. Dieses wurde dann einem zweiten Schmelzen unter Zusatz von altem Messing, auch wohl von Kupfer, und wiederum etwas Kohle unterzogen.

Bei dem neuen Verfahren, der Darstellung aus Kupfer und metallischem Zink, bedient man sich gleichfalls der Tiegel zum Schmelzen, da ein Schmelzen im Flammofen mit freier Oberfläche wegen der Leichtoxydierbarkeit und Flüchtigkeit des Zinks zu beträchtlichen Zinkverlusten Veranlassung geben würde; in noch stärkerem Maße würde dieses im Schachtofen der Fall sein. Das Schmelzen geschieht in Tiegelschachtöfen bei Koks- oder Holzkohlenferung, seltener in Tiegelflammöfen. Kupfer und Zink werden in abwechselnden Lagen in die vorher angewärmten Tiegel eingetragen, gewöhnlich wird auch Altmessing, welches wieder aufgearbeitet werden soll[2]), zugesetzt, eine Decke von Kohlenstaub gegeben, worauf das Schmelzen, welches zwei bis vier Stunden (abweichend nach der Größe der Tiegel) zu beanspruchen pflegt, beginnt. Mitunter, doch im ganzen seltener, schmelzt man zunächst nur das Kupfer mit dem Altmessing zusammen

[1]) Galmei ist kohlensaures Zink (Zinkspat) oder kieselsaures Zink (Kieselzink); ersteres, welches zum Unterschiede von dem letzteren auch wohl Galmey geschrieben wird, ist das wertvollere Erz. Zinkblende ist Schwefelzink. Durch Rösten werden die Kohlensäure und der Schwefel ausgetrieben und das Erz wird in Zinkoxyd umgewandelt. Benutzt man Kieselzinkerz, so ist beim Schmelzen ein Kalkzuschlag erforderlich.

[2]) Feil- und Drehspäne enthalten stets eingemengte Eisenteilchen und müssen deshalb, wenn sie für Darstellung besserer Messingsorten Verwendung finden sollen, zuvor durch Behandlung mit einem kräftigen Magneten von jenen befreit werden.

und setzt erst dem geschmolzenen Metalle das gut angewärmte Zink hinzu. Will man Gußwaren darstellen, so bedient man sich getrockneter Formen aus fettem Formsande; große Tafeln für Blechdarstellung (Tafelmessing) gießt man zwischen eisernen Platten.

Beim Schmelzen des Messings ist trotz der Anwendung von Tiegeln und des Bedeckens des Tiegelinhalts mit Kohlenstaub ein Zinkverlust durch Verflüchtigung unvermeidlich, auf welchen Rücksicht genommen werden muß, damit die fertige Legierung nicht zinkärmer ausfalle, als beabsichtigt war. Er pflegt 2—3 v. H. vom Gewichte des eingesetzten Metalls oder 5—8 v. H. von dessem Zinkgehalte zu betragen.

Messing im allgemeinen nennt man sämtliche Zinkkupferlegierung mit deutlich gelber Farbe. Diese Farbe beginnt bei einem Zinkgehalte von etwa 19. v. H. und geht rasch in Grau über, wenn der Zinkgehalt 60 v. H. übersteigt. Sie wird aber nicht etwa, wie man annehmen könnte, mit zunehmendem Zinkgehalte zwischen den angegebenen Grenzen (19—50 v. H.) gleichmäßig heller, sondern zeigt sprungweise Übergänge, wie folgende Zusammenstellung zeigt.

Zusammensetzung % Kupfer	Farbe
100—97	rot
97—90	gelbrot
90—63	gelb
63—54	rötlichgelb mit gelbem Ton
54—43	rötlichgelb
43—40	gelblichrot
40—30	silberweiß
30—20	silbergrau bis blaugrau
20—13	blaugrau
13—2,5	blaugrau immer heller werdend
2,5—0	wie Zink

Das Verhältnis zwischen Zink und Kupfer im Messing ist demnach ziemlich verschieden und wird nach der beabsichtigten Verwendung geregelt. Wenn es in Rücksicht auf die größere Billigkeit des Zinks wünschenswert erscheinen muß, einen möglichst reichlichen Zusatz dieses Metalles zu geben, so verringert sich doch mit zunehmendem Zinkgehalte die Geschmeidigkeit der Legierung, und je höher die Ansprüche sind, welche man an die Geschmeidigkeit des Messings stellt, desto niedriger muß sein Zinkgehalt sein. Sehr erheblich würde ein Gehalt von fremden Körpern — Blei, Zinn, Eisen, Wismut, Antimon — die Geschmeidigkeit benachteiligen, und für die Herstellung von Blechen und Drähten, also Zwischenerzeugnissen, deren Brauchbarkeit in erster Reihe von ihrer Geschmeidigkeit abhängt, benutzt man tunlichst reine Sorten des Kupfers und Zinks und vermeidet beim Schmelzen jeden fremden Zusatz. Das vorzüglichste deutsche Messingblech, welches z. B. für musikalische Instrumente benutzt wird und bei seiner Verarbeitung ein Ausstrecken mit dem Hammer auf sehr dünne Querschnitte ertragen muß, enthält 19 bis 21 v. H. Zink (neben 81—79 v. H. Kupfer); nicht ganz so vorzügliches, aber immerhin noch für die meisten Verwendungen brauchbares Messingblech, enthält 22—30 v. H, Zink; die billigsten, für Darstellung von Spielwaren und einfach zu formenden Gegenständen benutzten Bleche weisen einen Zinkgehalt von 30—40 v. H. auf. Ist bei der Verarbeitung der Bleche ein Löten mit Hartlot[1]) erforderlich, so muß ihr Zinkgehalt um so niedriger sein, je größere Festigkeit die Lötstelle erhalten soll.

[1]) Hartlote pflegen ebenfalls Zinkkupferlegierungen zu sein. Einiges nähere über ihre Zusammensetzung ist unten mitgeteilt.

Gleiche Verhältnisse walten bei der Darstellung von Messing ob, welches zur Drahtanfertigung bestimmt ist.

In Rotglut gut verarbeitbar (schmiedbar) ist Messing wenn sein Zinkgehalt nicht unter 35 und nicht über 45 v. H. beträgt. Wo also die besondere Verwendung des Messings die Verarbeitung in Rotglut als wünschenswert erscheinen läßt, bewegt sich die Zusammensetzung im Allgemeinen innerhalb jener Grenzen. Ein Eisengehalt von 1—3 v. H. soll die Schmiedbarkeit in Rotglut erhöhen[1]).

Messing, welches zur Herstellung von gegossenen Gegenständen — Bau- und Maschinenteilen, kunstgewerblichen Arbeiten u. a. m. — bestimmt ist, heißt Gußmessing, die Gegenstände selbst werden in manchen Gegenden Gelbguß genannt, der Verfertiger ist der Gelbgießer. Da bei diesen Erzeugnissen eine besondere Geschmeidigkeit nicht verlangt wird, pflegt das Gußmessing für gewöhnlichere Verwendungen zinkreicher zu sein, als die besseren für Bleche oder Drähte bestimmten Sorten (Zinkgehalt gewöhnlich 35—45 v. H.); mit dem Zinkgehalte wird aber auch die Schwindung der Legierung beim Eingießen in Formen größer[2]), und mit dieser Schwindung wächst die Schwierigkeit dichte, d. h. von inneren Hohlräumen freie Abgüsse zu erzielen. Abgüsse aus zinkreichem Messing enthalten an jenen Stellen, wo das Metall am längsten flüssig blieb, oft jene früher erwähnten Hohlräume (Lunker, Saugstellen) von beträchtlicher Ausdehnung, selbst dann, wenn alle zur Vermeidung solcher

[1]) Unter Einhaltung gewisser Temperaturgrenzen lassen sich jedoch auch zinkärmere Messingsorten in der Hitze schmieden. Als gut schmiedbar gilt z. B. ein Messing mit 72 % Kupfer, 27,8 % Zink und 0,2 % Eisen.

[2]) Vergl. M. Thornton Murray „The copper-zinc alloys". The Journal of the Institute of Metals, Volume II 1909, S. 101. London.

Hohlräume üblichen Mittel (Anwendung eines verlorenen Kopfs u. a. m.) in vollem Maße zur Anwendung gebracht worden waren. Wo also dichte Abgüsse erzielt werden sollen, muß die Anwendung zinkreichen Messings ausgeschlossen bleiben.

Sollen die Messinggußwaren eine größere Festigkeit und Härte enthalten, als das reine Messing besitzt, so läßt sich dieses Ziel durch Zusatz einer gewissen Menge Zinn erreichen; ein kleiner Bleigehalt erleichert, wie bei der Bronze, die Bearbeitung durch schneidende Werkzeuge; so entstehen durch diese Zusätze Legierungen, welche den Übergang bilden zu jenen zink- und bleihaltigen, vornehmlich für Zwecke des Kunstgewerbes benutzten Bronzen, von welchen früher die Rede war. Manche sogenannte Bronzen, zu Kunstdenkmälern verwendet, sind in der Tat ihrer Zusammensetzung, d. h. ihrem geringen Zinn- und großen Zinkgehalte gemäß eher als zinnhaltiges Messing zu bezeichnen; z. B.

	Kupfer	Zink	Zinn	Blei	Eisen
Diana im Hofgarten zu München	76,90	19,69	0,64	2,68	0,10
Johann-Wilhelm Standbild in Düsseldorf . . .	71,74	25,58	2,37	0,91	—

und manche andere.

Auch einige für Maschinenteile benutzte Legierungen aus Kupfer, Zink, Zinn und Blei gehören in diese Gruppe; man sparte eben, sofern keine sehr bedeutende Festigkeit und Härte erforderlich war, am Zinn und setzte statt dessen größere Mengen des billigen Zinks hinzu. Im Ganzen sind jedoch gerade für diesen Zweck, wo ein gewisser Härtegrad fast immer erforderlich ist, diese zinkreichen Legierungen weniger gut brauchbar und deshalb auch

weniger häufig benutzt, als die unter den Bronzen besprochenen mit höherem Zinngehalte bei weniger Zink.

c) Tombak.

Als Tombak bezeichnet man Zinkkupferlegierungen, die wegen eines geringern Zinkgehalts (Zinkgehalt höchstens 18 v. H.) nicht die bekannte messinggelbe, sondern eine goldgelbe, rötliche bis rotbraune Farbe besitzen. Goldähnlich aussehende Gegenstände aus einer solchen Legierung sollen im 17. Jahrhunderte aus Siam zuerst nach Europa gebracht worden sein; die malayische Bezeichnung tambaga (eigentlich Kupfer) wandelte sich in den Namen Tombak um.

Sind derartige, im wesentlichen aus Kupfer und Zink bestehende Legierungen durch Gießen zur Herstellung von Gußstücken, insbesondere Maschinenteilen, verwendet worden, so nennt man sie Rotguß (als Gegensatz zu dem zinkreichern Gelbguß).

Der reine, d. h. von Zinn, Blei und anderen, die Geschmeidigkeit beeinträchtigenden Körpern freie Tombak zeichnet sich in gewöhnlicher Temperatur durch ein verhältnismäßig hohes Maß jener Eigenschaft aus, ist aber, ebenso wie die meisten Messingsorten, in höherer Temperatur unverarbeitbar. Man benutzt ihn hauptsächlich zur Herstellung sogenannter unechter Goldwaren, Gegenstände, welche eine goldähnliche Farbe besitzen und meistens durch Pressen, Drücken auf der Drehbank usw. gefertigt werden, also durch Arbeiten, welche ein geschmeidiges Metall erheischen. Billige Schmucksachen, Knöpfe, auch das unechte Blattgold, gehören hierher. Die goldähnliche Farbe besitzen diejenigen Tombaksorten, welche nicht unter 10 und nicht über 18 v. H. Zink enthalten.

Daß diese unechten Goldwaren rasch schwarz werden und eines häufigen Putzens bedürfen, wenn sie ihre Goldfarbe behalten sollen, ist bekannt. Häufig gibt man ihnen deshalb, um sie vor dem Anlaufen zu schützen einen schwachen Goldüberzug, seitdem die Erfindung der galvanischen Vergoldung uns ein bequemes und verhältnismäßig billiges Mittel hierfür verschafft hat.

Dem Rotguß, welcher einer Verarbeitung auf Grund der Geschmeidigkeit nicht unterzogen werden soll, setzt man häufig, ebenso wie dem Gelbguß, kleinere oder größere Mengen Zinn hinzu, wenn es sich um Erhöhung der Festigkeit und Härte handelt, auch wohl Blei in kleinen Mengen, und man bildet solcherart Legierungen, welche oft den eigentlichen Bronzen sehr nahe stehen.

Manche der auf Seite 127 und 128 als Beispiele der Maschinenbronze aufgeführten Legierungen verdienen in der Tat nicht minder gut den Namen Rotguß; insbesondere die zwei Legierungen für Dichtungsringe zu Dampfkolben mit 8,5 und 10 v. H. Zink. Auch viele zu Standbildern und zu ähnlichen gegossenen Gegenständen benutzte Legierungen, deren Zinkgehalt hoch ist, ohne den des Gelbgusses zu erreichen, müßten ihrer Zusammensetzung nach als Rotguß bezeichnet werden, z. B.

	Kupfer	Zink	Zinn	Blei
Minervastandbild in Paris	83,0	14,0	2,0	1,0
Reiterstandbild Louis XIV. von Gor .	82,4	10,3	3,1	3,1
Gruppe der Rossebändiger in Berlin .	84,5	15,3	0,1	0,1
Standbild Friedrich des Großen in Berlin	87,4	8,9	3,2	0,6

u. a. m.

Wie man sieht, läßt sich eine scharfe Grenze zwischen den als Kunstbronzen bezeichneten Legierungen und dem zinnhaltigen Rotguß überhaupt nicht ziehen.

Nicht selten hat man auch aus den nämlichen Gründen, welche schon bei Besprechung der Kunstbronzen Erwähnung fanden, für Legierungen, welche der Gruppe des Messings oder Tombaks angehören, besondere Namen erfunden und im Verkehre zur Anwendung gebracht. Chrysorin, Prinzmetall, Bristoler Messing, Oreïde, Pinchbeak sind beispielsweise solche Benennungen, längere oder kürzere Zeit hindurch für Gegenstände — Schmucksachen, Löffel, Beschläge u. a. — angewendet, die in Wirklichkeit aus Zinkkupferlegierungen mit oder ohne Zinngehalt gefertigt wurden. Auch die in jetziger Zeit noch gebräuchliche Benennung Talmigold bezeichnet nichts anderes als vergoldete Tombakwaren; die im Anfange der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts rasch zu großer Verbreitung gelangten, dann aber ebenso rasch wieder aus der Mode gekommenen Gegenstände aus sogenanntem Cuivrepoli waren Messingwaren, welche durch Prägen fabrikmäßig erzeugt wurden. Die deutsche Benennung Glanzmessing wäre entschieden vorzuziehen gewesen, hat aber im Handel niemals rechten Eingang finden können.

d) Sonstige Zinkkupferlegierungen.

Während die Zinkkupferlegierungen mit weniger als 35 v. H. und mehr als 45 v. H. Zink in erster Linie in gewöhnlicher Temperatur Verarbeitung auf Grund ihrer Geschmeidigkeit ertragen, bei der Verarbeitung selbst aber spröde werden und dann zur Wiedererlangung ihrer Geschmeidigkeit ausgeglüht werden müssen, lassen sich Legierungen, deren Zinkgehalt sich innerhalb der genannten Grenzen bewegt, auch in Rotglut bearbeiten, so daß jenes zeitraubende Ausglühen entbehrlich wird[1]). Ein geringer

[1]) Vergl. hierzu auch die Fußnote auf S. 155.

Eisengehalt erhöht erfahrungsgemäß die Schmiedbarkeit in Rotglut. Allgemein kann man diese Legierungen schmiedbares Messing nennen; häufig aber hat man ihnen besondere Namen gegeben, welche ihre Eigenart nicht mehr erkennen lassen.

Muntzmetall, von Muntz um 1832 eingeführt, Aichmetall oder Sterrometall, um 1847 von Aich eingeführt, sind Legierungen mit etwa 60 v. H. Kupfer, übrigens Zink und 1 bis 2 v. H. Eisen, auch wohl etwas Blei enthaltend, in Rotglut schmiedbar, welche für Schiffsbeschläge und ähnliche Zwecke empfohlen wurden.

Ausgedehntere Anwendung findet noch jetzt das Deltametall, nach dem Anfangsbuchstaben des Erfinders Dick benannt[1]), welches insbesondere für Maschinenteile empfohlen wird. Es ist ebenfalls ein etwas eisenhaltiges Messing mit bestimmtem Zinkgehalte (40—43 v. H.), in Rotglut schmiedbar, durch Festigkeit ausgezeichnet (Zugfestigkeit im gegossenen Zustande 34—36 kg auf 1 qmm), dem man, um beim Umschmelzen die Oxydation einzelner Bestandteile zu verhindern und solcherart die Zusammensetzung unveränderlich zu erhalten, etwas Phosphorkupfer oder besser Mangankupfer zugesetzt hat. Daß ein Eisengehalt imstande sei, die Festigkeit des Messings zu erhöhen, ist schon früher bei Verwendung der zuvorgenannten Legierungen öfters nachgewiesen worden; trotzdem ergaben sich bei Benutzung solchen eisenhaltigen Messings Mißerfolge infolge des Umstandes, daß das Eisen sich nur schwierig und nicht immer gleichmäßig mit den andern beiden Metallen legierte. Bei dem Deltametall nun wird dieser Übelstand dadurch überwunden, daß man zunächst durch Auflösen von Eisen in geschmolzenem und

[1]) Fabrik in Deutschland: Alexander Dick & Co. in Düsseldorf.

bis zum Rotglühen erhitztem Zink eine Eisenzinklegierung mit 8,5 . H. Eisen darstellt und diese erst mit den übrigen Metallen vereinigt[1]). Auch ein mäßiger Zusatz von Blei kann gegeben werden, sofern er als förderlich für die besondere Verwendung der Legierung erscheint (vergl. Seite 156).

Untersuchungen von Gegenständen aus Deltametall ergaben folgende Zusammensetzung:

	Kupfer	Zink	Eisen	Mangan	Blei	Phosphor	Nickel
Gegossen[2])	55,94	41,61	0,87	0,81	0,72	0,01	Spur
Geschmiedet[2])	55,80	40,07	1,28	0,96	1,82	0,01	Spur
Gewalzt[2])	55,82	41,41	0,86	1,38	0,76	Spur	0,06
Heiß gestanzt[2]) . . .	54,22	42,25	0,99	1,09	1,10	0,02	0,02
Verarbeitung nicht angegeben[3])	55,10	43,47	1,08	Spur	0,37	0,01	—

Der Eisengehalt beträgt demnach durchschnittlich 1. v. H.; annähernd ebenso hoch ist in den vier ersten Proben der Mangangehalt, welcher neben der Erfüllung seiner schon erwähnten Aufgabe ebenso wie das Eisen die Festigkeit der Legierung steigert (vergl. Manganbronze Seite 136). Der Bleigehalt ist, — wenigstens in den ersten vier Legierungen — höher, als daß eine nur zufällige Anwesenheit desselben anzunehmen wäre[4]).

[1]) Deutsche Reichspatente Klasse 40, No. 22 620 und 28 546; auch Glasers Annalen, Band 14, S. 179. Vergl. auch S. 7.

[2]) Nach Hampe. Chemikerzeitung 1888.

[3]) Im chemischen Laboratorium der Freiberger Bergakademie untersucht. Persönliche Mitteilung.

[4]) Näheres über die Festigkeitseigenschaften und die Verwendung des Deltametalles: Glasers Annalen, Band 26, S. 245.

Eine dem Deltametall ähnliche, etwas kupferreichere Legierung, welche jedoch häufig Zinn, auch Antimon und Aluminium enthält, wird seit Jahren von den Dürener Metallwerken Hupertz & Harkort unter der Bezeichnung Durana metall in den Handel gebracht. Als mittlere Zusammensetzung ergab sich bei fünf angestellten Untersuchungen[1]):

Kupfer	Zink	Eisen	Aluminium	Zinn Antimon
64,78	29,50	1,71	1.70	2,22

Die Legierung soll, ebenso wie das Deltametall, in Rotglut verarbeitbar sein und sich durch Festigkeit auszeichnen[2]).

Eine ziemlich umfängliche Verwendung finden die Kupferzinklegierungen, mit oder ohne Zusatz anderer Metalle, auch zum Löten von Kupfer, Bronze, Messing, Neusilber, Gold, Silber und anderen in hoher Temperatur schmelzbaren Metallen und Legierungen. Man nennt sie in dieser Verwertung Hart- oder Schlagelote zum Unterschiede von den in niedriger Temperatur schmelzenden und weniger festen, aus Bleizinnlegierungen bestehenden Weichloten. Das Verhältnis des Kupfers zum Zink in den Hartloten ist ziemlich abweichend; die Schmelztemperatur des Lots muß stets etwas tiefer liegen als diejenige des zu lötenden Metalls, und man erreicht dieses Ziel durch Regelung des Zinkgehalts, welcher die Schmelztemperatur erniedrigt. Bisweilen fügt man eine kleine Menge Zinn hinzu, um die Härte und Festigkeit — freilich auf Kosten der Geschmeidigkeit — zu steigern

---

1) Zeitschrift für angewandte Chemie 1894, S. 238.

2) Ueber die Festigkeitseigenschaften des Duranametalls: Dinglers Polyt. Journal Band 293, S. 20. Warmzerreißversuche mit Duranametall: Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure 1904, S. 897.

und die Schmelztemperatur fernerhin zu erniedrigen; besonders gut bewährt sind Lote mit einem gewissen Silbergehalte (Silberschlagelot). Bei umfassenden Versuchen, welche von der physikalisch-technischen Reichsanstalt über das Verhalten zahlreicher Hartlote von verschiedener Zusammensetzung angestellt wurden[1]), erwiesen sich folgende als gut geeignet:

Kupfer	Zink	Silber	
53	43	4	für strengflüssige Metalle
48	48	4	„ mittelstrengflüssige Metalle
42	52	6	„ Messingblech und Draht; sehr bequem für zahlreiche Verwendungen
43	48	9	„ zweite Lötungen
38	50	12	„ dritte Lötungen und als Ersatz für zinnhaltige, schnellflüssige Lote

Bei der Bereitung dieser Hartlose soll man, den erwähnten Untersuchungen zu Folge, das Zink in Graphittiegeln ohne starke Überhitzung schmelzen, das Kupfer in feingekörntem Zustande mit etwa ein Drittel seines Rauminhalts Salmiak mischen und allmählich im Zink auflösen. Das Silber wird in dünne Blechstückchen zerschnitten und mit dem Kupfer zugesetzt. Nach dem letzten Zusatze wird noch etwas Salmiak zugegeben, die Legierung gut umgerührt und, um gekörnt zu werden, in Wasser ausgegossen, welches durch einen Reisigbesen in Bewegung erhalten wird.

3. Nickelkupferlegierungen.

Seitdem man das Nickel gewerblich darstellt (1824)), haben sich dessen Legierungen mit Kupfer allmählich bei verschiedenen Völkern als Stoff zur Herstellung von

[1]) Dinglers Polyt. Journal Band 293, S. 64 u. 89.

Scheidemünzen, den sogenannten Nickelmünzen, Eingang verschafft. Reines, d. h. unlegiertes Nickel wird erst sei Ende der siebenziger Jahre in einer für die Weiterverarbeitung geeigneten Beschaffenheit von den Hütten geliefert und wird seit jener Zeit in einzelnen Staaten, wo man neue Münzwährungen einführte (Schweiz, Oesterreich) an Stelle des legierten Metalls verwandt.

Häufiger legiert man das für Münzendarstellung bestimmte Nickel mit Kupfer, erniedrigt dadurch die Schmelztemperatur, vermindert die Gasentwickelung beim Gießen und erhält für einen bestimmten Wert der aus der Legierung gefertigten Münzen größere, für den Umlauf bequemere Abmessungen.

Obgleich in diesen Münzen die Menge des Kupfers die des Nickels regelmäßig überwiegt, ist es doch vornehmlich das letztere Metall, von welchem der Metallwert der Münze, die für ihre Verwendung wichtigste Eigenschaft, abhängt; aus diesem Grunde ist die Benennung Nickelmünzen gerechtfertigt. Dank der stark färbenden Kraft des Nickels besitzen diese Münzen trotz ihres hohen Kupfergehaltes die bekannte geblich graue Farbe, welche der des reinen Nickels ähnlich ist, an die Farbe des Kupfers aber kaum noch erinnert.

Deutsche, belgische, nordamerikanische, brasilianische Nickelmünzen enthalten 25 v. H. Nickel neben 75 v. H. Kupfer; nordamerikanische, vor 1866 geprägte, enthielten nur 12 v. H. Nickel.

Für elektrische Meßapparate, z. B. zu Drähten für Thermoelemente findet eine als Konstantan bezeichnete Legierung mit 60 % Kupfer und 40 % Nickel Verwendung.

Sonstige Verwendungen haben diese Legierungen nur in seltenen Fällen gefunden. Sie sind auch bei hohem Kupfergehalte ziemlich schwierig verarbeitbar; unscheinbarer von Farbe als Bronze, Tombak und Messing, trotzdem aber kostspieliger — Grund genug, sie von der Anwendung für Anfertigung gewöhnlicher Gebrauchgegenstände auszuschließen.

4. Das Neusilber und verwandte Legierungen.

Die in der Überschrift bezeichneten Legierungen enthalten als wesentliche Bestandteile Nickel, Kupfer und Zink und können demnach als nickelhaltiges Messing angesehen werden, kommen jedoch unter mannigfachen Benennungen in den Handel. Schon im 18. Jahrhundert wurden verschiedene Metallwaren von weißer Farbe aus China nach Europa gebracht und hier unter dem Namen Packfong zu hohen Preisen verkauft. Später angestellte Untersuchungen ergaben, daß diese Legierung die oben genannten drei Metalle sowie mitunter etwas Eisen enthielt[1], und die Benennung Packfong wird auch heute noch von europäischen Verfertigern nicht selten angewendet. Da jedoch das Nickel, dieser wesentliche Bestandteil des Packfongs, in Europa erst seit 1824 gewerblich dargestellt wurde, konnte vorher auch von einer Darstellung jener Legierungen im Großen nicht die Rede sein. Ziemlich gleichzeitig entstanden damals (1824) zwei deutsche Fabriken für solche Legierungen, Gebrüder Henniger in Berlin und Dr. Geiters Fabrik in

[1]) Engström fand in einem chinesischen Gefäße aus Packfong 15,2 v. H. Nickel, 40,5 v. H. Kupfer, 44,3 v. H. Zink; Fyfe in einem anderen Gefäße 30,8 v. H. Nickel, 41 v. H. Kupfer, 26,5 v. H. Zink, 2,7 v. H. Eisen.

Schneeberg[1]). Erstere nannten ihr Erzeugnis Neusilber, letzterer gab ihm den Namen Argentan. Auch in Österreich, wo ebenfalls schon 1824 die erste europäische Nickelfabrik errichtet worden war, entwickelte sich der neue Erwerbszweig, ebenso in Frankreich; österreichische Verkäufer erfanden die Bezeichnung Alpakka, in Frankreich wurde die Legierung Maillechort, (nach den ersten Verfertigern Maillet und Chorier) genannt, und auch in Deutschland fanden letztere Bezeichnungen mitunter Anwendung. Als nun die Herstellung galvanischer Überzüge auf Metallwaren mehr und mehr Anklang fand, erwies sich die neue Legierung als besonders gut geeignet zur Herstellung versilberter Gegenstände, welche, dem echten Silber im äußeren täuschend ähnlich, doch erheblich billiger als diese geliefert werden konnten; man erfand für solche versilberte Neusilberwaren abermals neue Bezeichnungen und benannte sie mit dem aus Frankreich herübergekommenen Namen Alfénide (nach dem Verfertiger Alphen) oder mitunter auch Chinasilber.

Nach den besonderen Zwecken, welchen das Neusilber dienen soll, und nach dem Preise, welcher für die fertigen Gegenstände gezahlt wird, ist das Verhältnis der drei Bestandteile unter einander ziemlich abweichend. Nickel ist dasjenige Metall, welches der Legierung eine weiße, silberähnliche Farbe verleiht, zugleich am widerstandsfähigsten gegen chemische Einflüsse ist, aber auch einen höheren Preis besitzt als die beiden anderen Metalle. Je nickelreicher das Neusilber ist, desto ähnlicher ist es im äußern dem wirklichen Silber, aber desto kostspieliger und schwieriger verarbeitbar ist es auch, da mit dem Nickel-

---

[1]) Letztere wurde später nach Aue in Sachsen verlegt.

gehalte die Schmelztemperatur steigt, die Neigung, beim Gießen Gase zu entwickeln, und auch die Härte zunimmt. In den meisten Neusilberwaren beträgt der Nickelgehalt nicht unter 12 und nicht über 26 v. H.

Kupfer ist das geschmeidigste der drei Metalle; ein hoher Kupfergehalt ist daher wünschenswert, wenn eine Legierung dargestellt werden soll, welche starken Formveränderungen durch Walzen, Prägen, Drücken usw. unterzogen werden soll; aber mit zunehmendem Kupfergehalte wird die Legierung mehr gelblich und schließlich bräunlich. Gewöhnlich beträgt der Kupfergehalt 50—66 v. H.

Zink ist unter allen drei Metallen das billigste; es erniedrigt die Schmelztemperatur der Legierung und vermindert stärker als Kupfer die dem Nickel eigentümliche Gasentwicklung beim Gießen. Die Darstellung der Legierung wird demnach durch den Zusatz des Zinks erleichtert, der Preis wird verringert. Für die Erzielung gießbaren Neusilbers ist ein hoher Zinkgehalt förderlich; aber er verringert die Festigkeit, Härte, Zähigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse. In den meisten Fällen schwankt er zwischen 20—40 v. H. und beträgt in den bessern Sorten etwa ³/₈ vom Gewichte des Kupfers. Da jedoch ein Teil des Zinks beim Schmelzen sich verflüchtigt, pflegt man 3½ Teile Zink auf 8 Teile Kupfer zu rechnen.

So z. B. findet man folgende Vorschriften für verschiedene Zwecke:

Walzbares Neusilber von weißer Farbe für Löffel, Gabeln und dergleichen: 60 Teile Kupfer, 20 Teile Zink, 25 Teile Nickel;

oder: 50 Teile Kupfer, 25 Teile Zink, 25 Teile Nickel.

Gelbliches Neusilber: 60 Teile Kupfer, 26 Teile Zink, 15 Teile Nickel.
Leicht schmelzbares aber sprödes Neusilber: 60 Teile Kupfer, 48 Teile Zink, 15 Teile Nickel.
Chilenische Scheidemünzen enthalten 70 Teile Kupfer, 10 Teile Zink, 20 Teile Nickel[1]).

Als eine besonders vorzügliche, aber freilich verhältnismäßig kostspielige Legierung, ausgezeichnet durch Farbe, Glanz und Verarbeitungsfähigkeit empfiehlt Hiorns[2]) 46 Teile Kupfer, 20 Teile Zink, 34 Teile Nickel.

Auch eine als Nickelin in den Handel kommende Legierung gehört hierher. Nach einer Analyse von Thal enthält Nickelin: 55,31 % Kupfer; 31,07 % Nickel, 13,01 % Zink, 0,43 % Eisen, 0,18 % Blei. Nickelin dient vielfach zur Anfertigung von Vorschalt- oder Vergleichswiderständen (Rheostaten).

Bei der Untersuchung käuflicher Neusilberwaren findet man indeß den Nickelgehalt mitunter noch erheblich niedriger, als hier angegeben wurde, sofern der Verfertiger als Hauptziel die Darstellung billiger, wenn auch wenig dauerhafter Waren im Auge gehabt hatte. Sie sind Messing mit einem geringen Nickelzusatze.

Für die Bereitung guten Neusilbers ist die Verwendung reiner Metalle von Wichtigkeit. Käufliches Nickel enthält mitunter neben gewissen Mengen Kupfer, dessen Anwesenheit ohne Belang ist, sofern sie bei der Berechnung der Zusammensetzung der Legierung berücksichtigt wird. Arsen, welches, wenn es in das Neusilber übergeht, dieses spröde macht, auch Eisen, welches zwar nicht ganz so

---

1) Vergl. auch Bischoff, Das Kupfer und seine Legierungen, S. 271.
2) A. H. Hiorns, Mixed metals or metallic alloys, 2. Aufl., S. 288.

nachteilig als Arsen wirkt, doch aber für Erzielung geschmeidigen Metalls nicht erwünscht ist[1]).

Das Schmelzen der Legierung geschieht stets im Tiegel in hoher Temperatur. Hinsichtlich der Bereitung lassen sich verschiedene Wege einschlagen. In einigen Fabriken bringt man auf den Boden des Tiegels, welcher 50 bis 60 kg zu fassen pflegt, ewas Kupfer, darauf etwas Nickel und Zink, wiederum eine Lage Kupfer und darüber Nickel und Zink, zu oberst Kupfer, wobei das Zink sämtlich, von dem Nickel und Kupfer jedoch nur etwa die Hälfte eingesetzt wird. Sämtliche Metalle werden vorher zu haselnußgroßen Stückchen zerschlagen. Auf die oberste Kupferschicht kommt eine Decke von Holzkohlenstaub. Man schmelzt, rührt mit einem Eisenstabe gut um und setzt nun nach und nach, damit die Auflösung leicht erfolge, den Rest des Kupfers und Nickels hinzu. Vor dem Ausgießen pflegt man noch ein Stückchen gut angewärmten Zinks in den Tiegel zu werfen, wodurch das Metall dünnflüssiger und die Gasentwicklung abgeschwächt wird. Durch verhältnismäßig langes Flüssigerhalten des Metalles wird die Erzielung einer gleichmäßigen und geschmeidigen Legierung befördert.

In anderen Fabriken schmelzt man zunächst alles Kupfer und Nickel mit vorhandenen Neusilberabfällen in dem mit einem Deckel verschlossenen Tiegel (ohne Kohlendecke) ein und löst dann sämtliches Zink, welches vorher gut angewärmt wird, in der geschmolzenen Legierung auf.

In englischen Fabriken stellt man bisweilen mehrere Schmelzungen an, um die Vereinigung der Metalle zu er-

---

[1]) Einige Verfertiger sollen allerdings, um für manche Verwendungen die Härte zu erhöhen, absichtlich etwas Eisen, wie beim Deltametall zusetzen.

zielen. In einer Schmelzung wird das gesamte Zink mit einem Teile, etwa der Hälfte, des Kupfers vereinigt, das geschmolzene Metall gut durchgerührt und zu dünnen Platten ausgegossen, welche zu kleinen Stücken zerschlagen werden. In einer anderen Schmelzung vereinigt man den Rest des Kupfers mit allem Nickel; wenn die Metalle geschmolzen sind, fügt man nach und nach die Stücke der zuerst gebildeten Kupferzinklegierung hinzu, während der Tiegelinhalt mit Kohle bedeckt gehalten wird, und erhitzt unter Umrühren, bis gleichmäßige Legierung erfolgt ist.

Für Darstellung gegossener Gebrauchsgegenstände würde das Neusilber sich wenig eignen. Man pflegt es zu Blechen zu verarbeiten, welche der weiteren Verarbeitung durch Prägen, Treiben u. s. w. unterzogen werden. Zu diesem Zwecke vergießt man das geschmolzene Metall in Eisenformen zu Platten, welche entweder so stark sind, daß aus jeder beim Auswalzen eine Blechtafel erfolgt, oder welche auch so dick gegossen werden, daß man sie mit Hülfe einer, mehrere parallele Sägeblätter enthaltenden, durch Dampf- oder Wasserkraft getriebenen Säge zunächst in mehrere dünne Platten zerteilt[1]). Letzteres Verfahren beruht auf dem Umstande, daß dickere Platten leichter rein von Ausscheidungen und Gasblasen zu erhalten sind als dünnere. Die bei der erwähnten Durchteilung erfolgenden beiden äußeren Platten, welche nie ganz tadellos sind, werden wieder eingeschmolzen.

Die gegossenen Platten werden zunächst geglüht und dann in gewöhnlicher Temperatur in Walzwerken zu Blechen verarbeitet.

---

[1]) Vergl. H. Fischer, Technologische Studien im Sächsischen Erzgebirge, S. 81.

Das Neusilber ist etwas härter und nicht ganz so geschmeidig, wie gutes Messing. Es wird wie dieses kalt bearbeitet, bedarf aber während der Bearbeitung, zumal im Anfange, eines öfteren Ausglühens, um die ziemlich rasch verloren gehende Geschmeidigkeit wieder zu erhalten. Einige Neusilberarten ertragen auch Bearbeitung in dunkler Rotglut; in höherer Temperatur dagegen wird alles Neusilber vollständig spröde und zerspringt schon unter schwachen Hammerschlägen.

Die Festigkeit des Neusilbers ist größer, als die des Messings und beträgt z. B. für hartgezogene Drähte durchschnittlich 75 kg auf 1 qmm (Messing 60 kg), für geglühte Drähte 52 kg (Messing 36 kg).

In Fällen, wo man trotz der Schwergießbarkeit des Neusilbers gegossene Gebrauchsgegenstände daraus fertigen wollte, hat man ihm bisweilen Zusätze anderer Metalle gegeben, welche die Gießbarkeit erhöhen sollten, ohne die sonstigen guten Eigenschaften des Neusilbers zu beeinträchtigen; nicht selten hat man neue wunderliche Namen für solche aus Neusilber mit irgend einem Zusatze bestehende Legierungen ersonnen. Als Zusatz dient Zinn[1]), Blei, Aluminium auch Kadmium (dessen hoher Preis jedoch kaum dem etwaigen Nutzen des Zusatzes entsprechen dürfte), Antimon; ferner in neuerer Zeit Phosphorkupfer oder Mangankupfer.

---

[1]) Legierungen aus Kupfer, Nickel und Zinn ohne Zink sind versuchsweise früher dargestellt worden, fallen jedoch wegen des hohen Zinnpreises kostspieliger aus und sind schwieriger verarbeitbar im ungeschmolzenen Zustande, als gewöhnliches Neusilber. So z. B. ist für Zapfenlager eine Legierung aus 50 Teilen Kupfer, 25 Teilen Zinn, 25 Teilen Nickel, für andere Gußwaren eine solche aus 30 Teilen Kupfer, 17 Teilen Zinn, 10 Teilen Nickel empfohlen worden (Bischoff, Das Kupfer, S. 272).

So z. B. enthielten Gegenstände, welche von einer englischen Fabrik unter der Bezeichnung Arguzoid in den Handel gebracht wurden, gießbar und weiß von Farbe waren, nach einer Analyse von Jüptner[1]):

Kupfer	Nickel	Zink	Blei	Zinn	Eisen
55,78	13,41	23,20	3,54	4,03	Spur

Pariser Neusilber enthielten[2]):

Kupfer	Nickel	Zink	Kadmium
69,9	19,8	5,6	4,7

und als leicht gießbares Neusilber ließ sich V. Schmidt Legierungen patentieren[3]) welche

52	bis	50	Teile	Kupfer
17	„	15	„	Nickel
5	„	10	„	Zink
3	„	5	„	Phosphorkupfer mit 15 % Phosphor
1	„	1	„	Mangan

enthalten sollen.

Eine als Victor-Metall bezeichnete Legierung mit

Kupfer	Zink	Nickel	Aluminium	Eisen (Verunreinigung)
49,94	34,27	15,40	0,11	0,28

ist in Sand gießbar und wird von Seewasser nur schwer angegriffen. Sie findet in Amerika für Marinezwecke Verwendung[4]).

Auch Silber hat man mitunter der Legierung beigefügt, vermutlich in der Erwartung, sie dadurch dem echten Silber ähnlicher zu machen. Sogenanntes Perusilber[5]) enthielt z. B.:

---

1) Metallarbeiter 1882, S. 149 (aus der Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen).
2) Karmarsch, mechan. Technologie, 5. Aufl., S. 58.
3) Deutsches Reichspatent, Klasse 40, No. 44 536.
4) American-Michinist 1906, S. 555.
5) Bischoff, S. 275.

Kupfer	Zink	Nickel	Silber	Eisen
65,24	19,52	13,0	2,05	0,12

Ein besonderer Nutzen ist von dem Zusatze des Silbers nicht zu erwarten.

Endlich ist hier derjenigen Versuche zu gedenken, welch den Zweck hatten, in dem gewöhnlichen Neusilber das kostspielige Nickel ganz oder teilweise durch Mangan zu ersetzen und solcherart Legierungen zu bilden, welche man als Manganneusilber bezeichnen kann. Schon zu der Zeit, als die Neusilberdarstellung eingeführt wurde, stellte man solche Legierungen dar, indem man Braunstein mit Kupfergranalien und Kohle im Tiegel schmolz, also zunächst Kupfermangan erzeugte, welches nun ein zweites Mal mit Zinkzusatz eingeschmolzen wurde, und bis in die neueste Zeit hinein sind ab und an solche Legierungen für ähnliche Zwecke wie das eigentliche Neusilber benutzt worden, ohne jedoch eine häufige Anwendung zu finden.

Da das Mangan, wie aus der auf Seite 85 mitgeteilten Reihe sich ergibt, eine ziemlich stark färbende Kraft besitzt, ist es im Stande, ähnlich wie das Nickel mit Kupfer und Zink weiße Legierungen zu bilden; aber einen gleichen Farbenton wie Nickel hervorzurufen, ist doch ein etwas höherer Mangangehalt erforderlich. Löffel im Jahre 1826 von der Firma Zernecke in Berlin in den Handel gebracht, enthielten 57,1 Teil Kupfer, 19,1 Teil Mangan, 23,2 Teil Zink; ähnlich waren manche später gefertigte Gegenstände zusammengesetzt.

Zwei in der Sammlung der Freiberger Bergakademie befindliche Teller, deren einer mit weißer Farbe aus nickelhaltigem Manganneusilber und der andere mit gelblicher Farbe aus nickelfreiem Manganneusilber besteht, haben folgende Zusammensetzung:

	Mangan	Nickel	Kupfer	Zink	Eisen
Weiße Legierung . . .	4,48	3,67	63,16	26,11	0,74
Gelbliche Legierung . .	7,95	—	60,95	29,93	1,13

Der Mangangehalt der gelblichen Legierung ist annähernd so groß, wie der Mangan- und Nickelgehalt der weißen Legierung zusammen, ihr Kupfergehalt ist geringer; trotzdem ist sie weniger hell als diese gefärbt.

Ein besonderer Nutzen ist von dem Zusatze des Eisens nicht zu erwarten. Eisenfreies Kupfermangan aber ist kostspielig, und der Preis solcher Legierungen ohne einen wesentlichen Eisengehalt ist mindestens so hoch als der des Nickelneusilbers. Als man anfing, in Eisenhochöfen Eisenmanganlegierungen mit einem Mangangehalte bis zu 80 v. H. zu wesentlich niedrigerem Preise zu erzeugen, hoffte man, diese zur Darstellung von Manganneusilber verwenden zu können; aber teils ihr Eisengehalt, teils ihr nie fehlender hoher Kohlenstoffgehalt (6 bis 7 v. H.) haben die Gewinnung einer gut brauchbaren Legierung auf diesem Wege vereitelt.

5. Goldlegierungen.

Reines Gold ist zwar durch ein hohes Maß von Geschmeidigkeit ausgezeichnet, aber es besitzt nur geringe Härte und ist deshalb mechanischen Einwirkungen gegenüber wenig widerstandsfähig. Es wird aus diesem Grunde im reinen Zustande nur selten verarbeitet. Man legiert es, um seine Härte zu steigern; zugleich verringert man, wenn man es mit einem billigeren Metalle legiert, den Preis der fertigen Goldwaren, ein Umstand, welcher nicht selten die Veranlassung ist, einen reichlichen Zusatz eines fremden Metalls zu geben, und bei Herstellung künstlerischer Gegenstände hat man bisweilen auch den Zweck

im Auge, besondere, von der reinen Goldfarbe abweichende Farbentöne, — rötlich-gelb, weißlich-gelb, grünlich-gelb — durch die Legierung hervorzurufen.

Das üblichste Legierungsmetall für Gold ist Kupfer. Es legiert sich leicht und, ohne zu seigern[1]), in beliebigen Gewichtsverhältnissen mit dem Golde und erfüllt jene Aufgabe, dessen Härte und Festigkeit zu erhöhen, in befriedigendem Grade, ohne seine Geschmeidigkeit allzusehr zu schmälern. Für Erzeugung heller gefärbten Goldes benutzt man Silber an Stelle oder neben dem Kupfer als Zusatzmetall.

Sämtliche Goldmünzen der Jetztzeit bestehen aus Kupfergoldlegierungen. Die meisten, z. B. die deutschen, französischen, nordamerikanischen Goldmünzen, enthalten 90 Teile Gold neben 10 Teilen Kupfer, englische Sovereigns enthalten 91,66 Teile Gold neben 8,33 Teilen ($^1/_{12}$ Gewichts) Kupfer, sind also noch etwas goldreicher als jene; den größten Goldgehalt besitzen alte österreichische und ungarische Dukaten mit 98,61 bis 98,95 v. H. Gold, abweichend nach der Zeit der Prägung.

Wenn mitunter gleichwertige Goldmünzen desselben Landes verschiedene, auf abweichende Zusammensetzung deutende Farbe besitzen, wie es z. B. nach Einführung der deutschen Münzwährung bei deutschen, aus verschiedenen Münzwerkstätten hervorgegangenen Goldmünzen sich beobachten ließ, welche mitunter rötlich-gelb, in anderen Fällen rein goldgelb aussahen, so ist der Grund dafür allein in der verschiedenen Oberflächenbehandlung der Münzplatten, bevor sie zur Prägmaschine gelangen, zu suchen.

---

[1]) Versuche über die Seigerungsfähigkeit der für Münzendarstellung benutzten Kupfergoldlegierungen wurden 1873 in der Königl. Münze zu London angestellt. Näheres Hiorns, Mixed metals or metallic alloys, 2. Aufl., S. 344.

In einzelnen Münzwerkstätten behandelt man sie, um ihnen eine blanke Oberfläche zu geben, ohne Goldverlust zu haben, mit Seifenwasser, und sie behalten ihre rötlichgelbe, den Kupfergehalt andeutende Farbe; in anderen Münzwerkstätten werden sie dagegen mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt, welche an der Oberfläche den Kupfergehalt auflöst, so daß sie mit reiner Goldfarbe herauskommen.

Da der Wert auch anderer Goldwaren sehr wesentlich von ihrem Goldgehalte abhängt, ist in den meisten Ländern die Angabe des Goldgehalts auf den Waren und eine Gewähr des Verfertigers erforderlich, daß der Gehalt dieser Angabe entspreche. Früher rechnete man nach Karaten. Feingold enthielt 24 Karat; 18 karätiges Gold war also solches, welches neben 18 Teilen Feingold 6 Teile Kupfer oder sonstige fremde Metalle enthielt. Im Verkehre mit Goldarbeitern begegnet man noch jetzt mitunter dieser seit Alters eingebürgerten Benennungsweise; gesetzlich ist jedoch jetzt die leichter verständliche Angabe des Feingehalts nach Tausendteilen vom Gewichte der Legierung eingeführt, und die Goldwaren müssen dementsprechend gestempelt sein. 750 bedeutet also eine Legierung aus 750 Teilen Gold und 250 Teilen anderen Metallen, welche dem früheren 18karätigen Golde entsprechen würde.

Da man imstande ist, auch stark legierten Goldwaren durch Beizen mit Säuren, welche an der Oberfläche das Legierungsmetall auflösen, das Gold aber nicht oder nur wenig angreifen, die reine Goldfarbe zu verleihen, werden für billige derartige Gegenstände mitunter Legierungen verwendet, deren Goldgehalt nicht mehr als 333 Tausendteile beträgt (8karätiges Gold); sehr gebräuchlich ist die Legierung mit 583 Teilen Gold (14karätig). Auch reiche,

für Schmuck und kunstgewerbliche Arbeiten benutzte Legierungen enthalten selten mehr als 750 Tausendteile Gold.

Die rötlich gefärbte Goldkupferlegierung heißt rote Karatierung, die Goldsilberlegierung weiße Karatierung, die Legierung mit beiden Metallen gemischte Karatierung.

Bei der Anfertigung kunstgewerblicher Gegenstände spielt bisweilen, wie schon erwähnt wurde, die Farbe der verwendeten Goldlegierung eine Rolle. Nicht selten werden Legierungen von verschiedener Farbe nebeneinander verwendet. Hochrotes Gold entsteht durch Legierung von gleichen Teilen Gold und Kupfer; blaßrotes aus 60 Teilen Gold, 20 Teilen Kupfer, 20 Teilen Silber; gelbes aus 50 Teilen Gold, 12½ Teilen Kupfer, 37½ Teilen Silber; blaßgelbes, fast weißes, aus 33½ Teilen Gold, 66,7 Teilen Silber; grünes aus 2—3 Teilen Gold auf 1 Teil Silber; oder 60 Teilen Gold, 25 Teilen Kupfer, 15 Teilen Silber; oder 75 Teilen Gold, 12½ Teilen Kupfer, 12½ Teilen Kadmium[1]); graublaues aus 75—80 Teilen Gold mit 25—20 Teilen Eisen.

Das in antiken Gefäßen, Schmuckstücken und dergleichen enthaltene Gold ist gewöhnlich ziemlich silberreich und deshalb blaß von Farbe, sei es, daß man gediegen gefundenes silberhaltiges Gold, dessen Scheidung vom Silber man nicht verstand, benutzte, oder daß man absichtlich Silber zusetzte. Das Elektrum der Alten war eine Legierung aus 3 Teilen Gold mit 1 Teil Silber; ein goldenes Gefäß aus Mykenä aus dem 2. Jahrtausend vor Christus enthielt 89,4 Teile Gold, 8,5 Teile Silber, 0,6 Teil Kupfer, 0,2 Teil Eisen[2]).

---

[1]) Noch einige andere Vorschriften für die Bereitung grüner und gelblich-grüner Goldlegierungen aus Gold, Silber und Kadmium findet der Leser in Dinglers Polyt. Journal Band 167, S. 139.

[2]) Berg- und hüttenmännische Zeitg. 1881, S. 139.

Aus Japan kommen verschiedene Gegenstände zu uns — Vasen, Griffe, Beschläge von Waffen und andere mehr — aus einer Legierung mit bläulich-schwarzer Oberfläche bestehend, welche Schakudo oder Schakdo genannt wird. Sie besteht aus einer Goldkupferlegierung mit 1—10 v. H. Gold und ist häufig antimonhaltig. Die erwähnte Farbe erhalten die fertigen Gegenstände durch Sieden in einer durch Auflösen von Kupfervitriol, Alaun und Grünspan in Wasser bestehenden Beize[1]).

Zur Herstellung von Uhrenteilen, welche hart wie Stahl sein, aber nicht rosten sollen, hat man Gold-Palladiumlegierungen mit oder ohne Zusatz von Silber oder Kupfer empfohlen. So z. B. eine Legierung aus 80 Teilen Gold mit 20 Teilen Palladium, welche weiß und hart ist, ohne sehr spröde zu sein, oder für Zapfenlager eine Legierung aus 37½ Teilen Gold, 23 Teilen Silber, 12½ Teilen Palladium, 27 Teilen Kupfer; u. a. m.

Endlich ist hier einer Legierung zu erwähnen, welche im wesentlichen nichts anderes ist als Aluminiumbronze mit einem kleinen Goldzusatze und vereinzelt zu billigen Schmuckwaren verwendet worden ist. Sie enthält 90—98,8 Teile Kupfer, 7½—2 Teile Aluminium, 2½—0,2 Teile Gold[2]). Da Aluminiumbronze an und für sich schon eine goldähnliche Farbe besitzt, der geringe Goldgehalt aber die üble Eigenschaft der Aluminiumbronze, an der Luft schwarz zu werden, nicht beseitigen wird, ist nicht erkennbar, welchen Vorteil der Goldgehalt bieten soll.

---

[1]) Dinglers Polyt. Journal Band 183, S. 289; auch Spezialkatalog der Japanischen Ausstellung in Nürnberg 1885, S. 4; Analysen: Metallarbeiter 1890, S. 766.

[2]) Bischoff, Das Kupfer und seine Legierungen, S. 296.

6. Silberlegierungen.

Auch das Silber ist, wie das Gold, ein weiches und deshalb im unlegierten Zustande nur selten für Herstellung von Gebrauchsgegenständen verwendetes Metall. Meistens dient ein Zusatz von Kupfer dazu, ihm einen höheren Härtegrad zu verleihen. Die deutschen Reichssilbermünzen, sowie die seit 1857 geprägten Taler und österreichischen Gulden, auch die nordamerikanischen Silbermünzen und französischen Fünffrancsstücke enthalten 10 Teile Kupfer auf 90 Teile Silber. Erfahrungsmäßig reicht dieser Kupferzusatz aus, den Münzen die für den Umlauf erforderliche Härte zu erteilen; geringwertige Silbermünzen erhalten jedoch bei so niedrigem Kupfergehalte allzu geringe Abmessungen, um für die Benutzung bequem zu sein. Aus diesem Grunde legiert man in vielen Ländern das Silber um so stärker mit Kupfer, je geringwertigere Münzen daraus geprägt werden sollen. So z. B. enthielten österreichische Viertelgulden (seit 1857) nur 52 v. H. Silber, 20-Kreuzerstücke 50 v. H., 10-Kreuzer (seit 1868) 40 v. H., 5-Kreuzer 35 v. H., während die österreichischen Silbermünzen neuer Währung 83,5 v. H. Silber enthalten; norddeutsche vor 1857 geprägte, noch teilweise im Umlaufe befindliche Taler enthalten 75 v. H. Silber, Sechsteltaler (Fünfsilbergroschen, nicht mehr giltig) 52 v. H. und die (ebenfalls nicht mehr umlaufenden) preußischen Silbergroschen und Silbersechser enthielten nur 22 v. H. Silber. Durch Beizen mit Schwefelsäure, welche an der Oberfläche der Münzen das Kupfer auflöst, erteilt man silberarmen und deshalb hellrötlich aussehenden Münzlegierungen ein silberweißes Aussehen; aber freilich kommt beim Umlauf solcher Münzen ihre rötliche Farbe bald wieder zum Vorschein.

Bei anderen Silberwaren muß nach gesetzlicher Vorschrift, wie bei Goldwaren, der Feingehalt in Tausendteilen des Gesamtgewichts auf dem betreffenden Gegenstande angegeben sein. Früher bezeichnete man den Feingehalt nach Loten und Grän; eine Mark Feinsilber enthielt 16 Lote, ein Lot 18 Grän. 12lötiges Silber war demnach solches, welches 750 Tausendteile Feinsilber enthielt.

Tafelgeräte — Löffel, Gabeln und dergleichen — müssen in Deutschland gesetzlich mindestens 800 Tausendteile Silber enthalten, Schmucksachen sind mitunter noch reicher. Bei diesem Silbergehalte ist die Legierung weiß und ändert auch bei längerer Benutzung nicht die Farbe, wie jene erwähnten armen Silbermünzen.

Reines Silber ist dem Spratzen (Seite 65) in starkem Maße unterworfen; durch den Zusatz von Kupfer wird, wie früher erwähnt, dieser Vorgang abgemindert, nicht aber immer ganz vermieden. Es kommt deshalb mitunter vor, daß die durch Schmelzen und Ausgießen in Formen hergestellten Legierungen Bläschen enthalten, welche bei der späteren Verarbeitung als unganze Stellen sich in unangenehmer Weise bemerkbar machen können. Wohltätig wirkt dagegen, wie ebenfalls bereits erwähnt worden ist, ein kleiner Zusatz von Zink, welches stärker als das Kupfer dem Silber seinen, das Spratzen hervorrufenden Sauerstoffgehalt entzieht, und man macht bisweilen mit Nutzen von diesem Mittel Gebrauch. ¾ bis 1 Hundertteile Zink als Zusatz zu Silberkupferlegierungen genügen schon, einen Erfolg zu erzielen; mitunter sind auch zinkreichere Legierungen in den Handel gebracht und für Gebrauchsgegenstände verwendet worden; z. B. 83,5 Teile Silber, 9,3 Teile Kupfer, 7,2 Teile Zink; oder 80 Teile Silber,

10 Teile Kupfer, 10 Teile Zink. Diese Legierungen sind gießbar, weiß von Farbe und unschwer zu bearbeiten[1]).

Auch Legierungen des Silbers mit Kupfer und Kadmium in verschiedenen Gewichtsverhältnissen, und zwar

Silber	500	bis	900	Teile
Kupfer . . .	30	„	15	„
Kadmium . .	470	„	5	„

sind als gut geeignet für Juwelierarbeiten empfohlen worden[2]).

Fernerhin hat man, um ein billiges, trotzdem aber bei der Benutzung weiß bleibendes und chemischen Einflüssen nicht stärker als die silberreicheren Legierungen unterworfenes Metall zu erhalten, mitunter die mehrfach erwähnte stark färbende Kraft des Nickels benutzt, um einen Teil des Silbers durch dieses Metall zu ersetzen, und außerdem wohl, wie beim Neusilber, etwas Zink beigefügt, um die Verarbeitung zu erleichtern und den Preis fernerhin abzumindern. Solche, aus den drei Metallen: Silber, Kupfer und Nickel mit oder ohne Zinkzusatz bestehende Legierungen, welche, sofern sie zinkhaltig sind, durch Schmelzen von Neusilber mit Silberzusatz dargestellt werden können und bereits auf Seite 172 unter der Benennung Perusilber Erwähnung fanden, sind ursprünglich in Frankreich, später auch unter der anderen Bezeichnung Drittelsilber in Deutschland versuchsweise für Herstellung von Tafelgeräten in Anwendung gebracht worden. Sie enthielten 30—40 v. H. Silber, 60—40 v. H. Kupfer, 5—30 v. H. Nickel, 0—15 v. H. Zink. Ihr Preis ist selbstverständlich höher als der des Neusilbers, ohne daß sie vor diesem erhebliche Vorzüge besäßen, zumal da die Abscheidung des Silbers

[1]) Dinglers Polyt. Journal Band 172, S. 433; Band 189, S. 267.
[2]) Dinglers Polyt. Journal Band 167, S. 288.

aus unbrauchbar gewordenen Geräten kostspielig sein würde; daher ist ihre Benutzung nur vereinzelt geblieben.

Unter der Bezeichnung Schibuischi kommt aus Japan eine zu Vasen, Tafelgeräten, Wehrgehängen und anderen Gegenständen verarbeitete Legierung in den Handel, welche aus Kupfer und Silber mit 30—50 v. H. Silber besteht und durch Sieden in der bei den Goldlegierungen (Schakudo) erwähnten Beize eine graugrüne Färbung annimmt. Häufig sind die daraus gefertigten Gegenstände mit anderen Metallen — Gold, Silber, Kupfer — ausgelegt, welche sich dann wirkungsvoll von dem dunkeln Grunde abheben[1]).

Zum Löten sowohl von Silberwaren als andrer Gegenstände, wenn die Lötstelle besondere Festigkeit und dabei doch eine gewisse Biegsamkeit besitzen soll, benutzt man silberhaltiges Hartlot (Seite 163), welches Silberschlagelot genannt wird. Es besteht demnach aus Silber, Kupfer und Zink und wird durch Zusammenschmelzen von Messingblech-Abschnitzeln mit Silber dargestellt; z. B. 5 bis 7 Teile Feinsilber, 5 bis 3 Teile Messing. Die silberreicheren Lote sind die vorzüglicheren; je niedriger aber die Schmelztemperatur des zu lötenden Metalles liegt, desto leichter muß auch das Lot schmelzen. Für leichtflüßiges Silberlot setzt man deshalb außer dem Messing auch wohl noch etwas Zink hinzu; z. B. 5 Teile Silber, 6 Teile Messing, 2 Teile Zink, oder ähnlich.

---

[1]) Spezialkatalog der japanischen Ausstellung in Nürnberg 1885, S. 4; Dinglers Polyt. Journal Band 183, S. 289; Analysen: Metallarbeiter 1890, S. 766.

7. Platinlegierungen (auch Palladium- und Rhodium-Legierungen).

Platin legiert sich zwar leicht mit zahlreichen Metallen. aber nicht gerade häufig finden die Legierungen Benutzung für gewerbliche Zwecke. Denn die beiden Eigenschaften, um derentwillen das reine Platin für mancherlei Verwendungen herangezogen wird, Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüße und hohe Schmelztemperatur, können durch seine Legierung mit anderen Körpern nicht gesteigert werden, sondern erfahren häufiger dadurch eine Abminderung; die Legierung hat also nur da einen Zweck, wo man die Gießbarkeit oder die Härte erhöhen will.

Platinkupferlegierungen mit einem Kupfergehalte von 75 Hundertteilen besitzen eine goldähnliche Farbe und sind versuchsweise zu Schmuckgegenständen benutzt worden, ohne jedoch eine ausgebreitete Anwendung gefunden zu haben. Ihr Preis ist jedenfalls zu hoch im Vergleiche mit der für ähnliche Zwecke benutzbaren Bronze und dem Tombak. Als vorzüglich geeignet werden diese Legierungen auch zur Herstellung von Metallspiegeln zu optischen Geräten empfohlen, wobei man zur Erhöhung der Gießbarkeit etwas Zink hinzufügen kann[1]); z. B.:

Platin . . .	15	16	7
Kupfer . .	10	7	16
Zink . . .	1	1	1

Ferner kommen für Uhrenteile, welche neben einer gewissen Zähigkeit die Härte des Stahls besitzen sollen, ohne wie dieser magnetisch zu sein und zu rosten. und welche bei Temperaturschwankungen nur möglichst ge-

---

[1]) Bischof, Das Kupfer, S. 298. Sonstige Beispiele für die Zusammensetzung dieser Legierungen: Hirons Mixed metals or metallic alloys, 2. Aufl., S. 403.

ringe Änderungen ihrer Abmessungen erleiden dürfen, Legierungen aus Platin neben Kupfer, Nickel, auch wohl Wolfram, Kadmium und anderen Metallen zur Anwendung. So z. B. empfehlen Ostermann und Prip folgende Legierungen für diesen Zweck[1]):

Platin . . .	62,75	62,75	62,75	54,32
Kupfer . .	18,00	16,20	16,20	16,00
Nickel . . .	18,00	18,00	16,50	24,70
Kadmium .	1,25	1,25	1,25	1,25
Kobalt . .	—	—	1,50	1,96
Wolfram . .	—	1,80	1,80	1,77

Das Kadmium soll erst zugesetzt werden, wenn die übrigen Metalle geschmolzen sind, wobei etwa die Hälfte verdampft.

Dagegen benutzt Paillard[2]) für den nämlichen Zweck Legierungen des Palladiums[3]) mit Kupfer sowie mit kleineren Mengen Silber und anderen Metallen; z. B.

Palladium . . .	72	72	70
Kupfer	18,5	18,5	25
Silber	6,5	7,0	4,0
Rhodium . . .	1,0	—	—
Platin	0,5	0,5	—
Gold	1,5	—	—
Nickel	—	2	1

Platinrhodiumlegierungen finden ausgedehnte Verwendung zur Herstellung von Thermoelementen für hohe Temperaturen. Das Le Chateliersche Thermoelement besteht aus einem Platindraht und einem Draht einer Legierung von 90 % Platin und 10 % Rhodium.

---

[1]) Deutsches Reichspatent Bl. 40 No. 44 173.
[2]) Deutsches Reichspatent Bl. 40 No. 38 445.
[3]) Ueber Goldpalladiumlegierungen für den gleichen Zweck, vergl. S. 178.

Platiniridiumlegierungen sind ebenfalls mitunter benutzt worden, wenn es sich darum handelte, Gegenstände von großer Wigerstandsfähigkeit gegen chemische und mechanische Einflüsse darzustellen, welche zugleich bei Temperaturschwankungen ihre Abmessungen wenig ändern. Eine gewisse Berühmtheit hat die im Jahre 1874 durch Deville bewirkte Herstellung eines 250 kg schweren Blocks einer solchen Platiniridiumlegierung erlangt, welche zur Anfertigung französischer Normalmetermaßstäbe bestimmt war[1]). Die Schmelzung wurde in einem mit Knallgas geheizten, aus Kalk gefertigten kleinen Flammofen bewirkt. Man schmolz erst kleinere Mengen (10—15 kg) der Metalle zusammen, vereinigte die erhaltenen Legierungen in einem zweiten Schmelzen zu größeren Stücken (80 kg) und diese endlich durch abermaliges Schmelzen zu dem fertigen Blocke. Die Legirung, deren Platingehalt auf 90 Hundertteile berechnet war, enthielt in Wirklichkeit

Platin	Iridium	Rhodium	Eisen	Kupfer
89,440	10,370	0,060	0,006	0,130

Platinsilberlegierungen mit 18 bis 35 v. H. Platin, weiß von Farbe und hart, sind mitunter zu Schmucksachen, platinreichere (50 Teile Platin, 37½ Teile Silber, 12½ Teile Kupfer) zu Schreibfedern, welche nicht rosten, benutzt worden; Platingoldlegierungen mit Zusatz von Silber oder Palladium für Teile an künstlichen Gebissen; z. B.

Platin . .	6	14	10
Gold . . .	2	4	6
Silber . . .	1	6	—
Palladium . .	—	—	8

---

1) Comptes rendus Band 78, S. 1502, Dinglers Polyt. Journal Band 213, S. 337.

8. Zinnlegierungen, Weißmetall, Britanniametall.

Das Zinn, ein durch schöne, weiße Farbe und durch Unveränderlichkeit an der Luft ausgezeichnetes Metall, wird doch nur selten in reinem Zustande verarbeitet. Schon sein ziemlich hoher Preis muß dazu verlocken, es mit einem billigeren Metalle zu legieren; seine verhältnismäßig geringe Härte, welche es mechanischer Abnutzung gegenüber als wenig widerstandsfähig erscheinen läßt, wird durch die Legierung gesteigert; auch wird es dünnflüßiger und leichter gießbar.

Das übliche Zusatzmetall ist Blei, welches in allen beliebigen Gewichtsverhältnissen ohne Schwierigkeit mit dem Zinn sich legiert und einen weit niedrigeren Preis als dieses besitzt (Erstarrungsdiagramm der Blei-Zinnlegierungen siehe Abb. 29). Der Zinngießer benutzt selten reines Zinn, sondern fast stets Bleizinnlegierungen mit verschiedenem Bleigehalte: für Spielwaren 40 bis 50 v. H. Blei, für Sargbeschläge, Theaterschmuck und dergleichen 39 bis 40 v. H. Blei, für Orgelpfeifen 30 v. H. Blei usf.

Wo aber die aus den Legierungen gefertigten oder auch mit Bleizinnlegierungen (Weichlot) gelöteten Gegenstände mit Speisen und Getränken in Berührung kommen, sei es, daß sie zur Bereitung, zur Aufbewahrung oder auch nur zum Messen, Durchseihen und dergleichen benutzt werden, da kommt die Leichtauflöslichkeit des Bleies und seine giftige Wirkung auf den menschlichen Körper in Betracht. Zahlreiche Untersuchungen sind bereits im Laufe der Zeit zur Beantwortung der Frage angestellt worden, welcher geringste Bleigehalt in den Legierungen in dieser Beziehung noch schädlich wirke, ohne daß jedoch stets vollständig übereinstimmende Ergebnisse erzielt worden

wären[1]). Man hat nachgewiesen, daß nicht allein durch essig- oder weinsäurehaltige Lösungen, sondern auch durch Kochsalzlösung, ja selbst durch gewöhnliches Leitungswasser und kohlensäurehaltige Flüssigkeiten Blei in ziemlich beträchtlichen Mengen aufgelöst werden kann und daß im allgemeinen die Menge des aufgelösten Bleies unter übrigens gleichen Verhältnissen mit dem Bleigehalte der Legierung zunimmt, obschon man bisweilen gefunden haben will, daß einzelne bleireichere Legierungen widerstandsfähiger waren als bleiärmere.[2]) In Rücksicht auf diese Gesundheitsgefährlichkeit der Anwendung bleireicher Legierungen dürfen inDeutschland nach einem Reichsgesetz vom 25. Juni 1887 Gegenstände für die genannten Zwecke nur noch aus Legierungen gefertigt oder mit Legierungen gelötet oder verzinnt werden, welche nicht mehr als höchstens 10. v. H. Blei enthalten.

Die Härtesteigerung, welche das Zinn durch Legierung mit Blei, diesem weichsten aller für gewerbliche Zwecke benutzten Metalle, erfahren kann, ist jedoch ziemlich beschränkt. Ein höherer Härtegrad läßt sich durch einen mäßigen Antimongehalt hervorbringen; auch ein geringer Kupfergehalt wirkt in dieser Beziehung förderlich und erhöht zugleich die Festigkeit, ohne in dem Maße, wie ein hoher Antimongehalt, die Sprödigkeit zu steigern. Auf diese Weise entstehen Legierungen, denen man den allgemeinen Namen W e i ß m e t a l l oder sofern sie zur Anfertigung von Gußwaren benutzt worden sind, W e i ß -

---

[1]) Dinglers Polyt. Journal Bd. 122, S. 62; Bd. 172, S. 155; Bd. 189, S. 428; Bd. 216, S. 328; Bd. 220, S. 446; Bd. 332, S. 153. Deutsche Industrieztg. 1865, S. 425; 1871, S. 85.

[2]) Es möge hier daran erinnert werden, daß die Bleizinnlegierungen zum Seigern geneigt sind, wodurch möglicherweise Beobachtungsfehler hervorgerufen werden können.

guß gegeben hat. Sie enthalten als Grundmetall Zinn, daneben Antimon, fast immer kleinere Mengen Kupfer und mitunter auch noch Blei in kleineren oder größeren Mengen.

Wird ein Kupferzusatz gegeben, so würde dieser wegen der bedeutend höheren Schmelztemperatur des Kupfers sich nur schwierig mit den übrigen Metallen legieren, wenn man ihn ohne weiteres diesen beifügen wollte. Man verfährt deshalb gewöhnlich in der Weise, daß man durch ein Schmelzen in höherer Temperatur zunächst das Kupfer mit dem Antimon oder auch mit einem Teile des Zinns zusammenschmelzt und nun diese Legierung mit den übrigen Metallen vereinigt.

Seine hauptsächlichste Verwendung findet das Weißmetall zur Herstellung von Maschinenteilen, welche ohne auf bedeutende Festigkeit in Anspruch genommen zu werden, der Reibung und dadurch einer verhältnismäßig raschen Abnutzung unterworfen sind, bei denen es also von Wichtigkeit ist, daß sie sich ohne erhebliche Kosten rasch ergänzen lassen. Der niedrige Schmelzpunkt des Weißmetalls erleichtert nicht unwesentlich die Anfertigung solcher Gußstücke. Besonders häufig sind es Lagerpfannen für umlaufende Zapfen, für deren Herstellung man sich des Weißmetalls bedient. Sie haben vor den aus Bronze gefertigten Zapfenlagern (Seite 128) nach Versuchen Chabals[1]) den Vorzug einer geringeren Zapfenreibung; außerdem bedarf es für ihre Herstellung nicht einmal einer besonderen Gußform. Man bringt den Zapfen innerhalb des Lagerstuhls in die richtige Lage und gießt den Raum um den Zapfen herum mit dem geschmol-

---

[1]) Mitgeteilt 1894 in der Revue générale des chemins de fer; außerdem in der weiter unten genannten Arbeit Charpys.

zenen Metalle aus, nachdem man die Seitenöffnungen durch eine vorgehaltene Blechplatte oder in anderer einfacher Weise geschlossen hat. Auf diese Weise gestaltet sich die Herstellung solcher Lagerpfannen billiger als die der Bronzelager, welche nicht nur in besonderen Formen gegossen, sondern auch nach dem Gießen auf Werkzeugmaschinen bearbeitet werden müssen; aber beim Warmlaufen der Zapfen kann es geschehen, daß die Weißmetalllagerschalen wegzuschmelzen beginnen.

Die metallographische Untersuchung[1]) des aus Zinn, Antimon und Kupfer bestehenden erstarrten Weißmetalls mit etwa 83,3 % Zinn, 11,1 % Antimon und 5,5 % Kupfer läßt drei verschiedene Bestandteile erkennen:

1. Nadelförmige, zuerst aus der flüssigen Lösung ausgeschiedene Kristalle, wahrscheinlich Mischkristalle von Kupfer und Zinn mit etwa 35 v. H. Kupfer, 65 v. H. Zinn. Sie sind der härteste Bestandteil, zerbröckeln leicht und hinterlassen hierbei flache, scharfkantige Vertiefungen, welche nach Behrens dem Schmieröl Gelegenheit geben, sich zu verteilen und festzusetzen.

2. Würfelförmige Kristalle einer Zinn-Antimon-Legierung, härter als Zinn aber weniger hart und spröde als die zuvor genanten Kupfer-Zinnkristalle und als Antimon. Sie sind im wesentlichen Mischkristalle aus etwa gleichen Teilen Antimon und Zinn.

3. Nahezu reines Zinn, als Grundmasse die erwähnten Kristalle einschließend, weich und bildsam. Nach Charpy ist diese Nachgiebigkeit der Legierung von Be-

[1]) Untersuchungen Charpys: Bulletin de la Société d'Encouragement 1898 S. 670; 1899 S. 972; Untersuchungen von Behrens und Bauke: Baumaterialienkunde 1899, S. 96; ferner „Untersuchungen über Lagermetalle, Weißmetall“ von E. Heyn und O. Bauer, Mitt. a. d. Kgl. Materialprüfungsamt 1911, Heft 1.

deutung für Verringerung der Reibung in den Fällen wo die Achse oder der Zapfen nicht ganz genau in das Lager eingelegt sind. Letzteres paßt sich der Form des eingelegten Stückes an, während die härteren Bronzelager ungleichmäßig beeinflußt werden und an den stärker belasteten Stellen stärkere Reibung und Abnutzung erleiden.



Abb. 45.
Weißmetall.

Abb. 45 zeigt in 110facher Vergrößerung das Kleingefüge eines Weißmetalles obiger Zusammensetzung.

Von wesentlichem Einfluß auf Gefüge und mechanisches Verhalten ist die Abkühlungsgeschwindigkeit nach dem Guß. Durch schnelle Abkühlung wird das Gefüge

feinkörniger bei gleichzeitiger Steigerung der Härte, der Stauch- und Druckfestigkeit des Metalles. Es ist anzunehmen, daß auch eine bessere Eignung der Legierung als Lagermetall damit im Zusammenhang steht.

Beim langsamen Abkühlen nach dem Guß oder beim Warmlaufen der Lager wird das Gefüge der Legierung gröber kristallinisch und ihr Verhalten ungünstiger.

Das Gewichtsverhältnis der Bestandteile des Weißmetalls untereinander ist ziemlich verschieden. Zinn ist das kostspieligste der Metalle; wenn aus diesem Grunde die Versuchung nahe liegt, den Zinngehalt nach Möglichkeit einzuschränken und durch Blei zu ersetzen, so ist eine bleireiche Legierung doch weniger hart als eine zinnreiche, und der Versuch, diesem Nachteile etwa durch Erhöhung des Antimongehalts vorzubeugen, würde eine vermehrte Sprödigkeit, also Neigung der Teile zum Bruche zur Folge haben. Selten geht man mit dem Antimongehalte über 20 Hundertteile hinaus; in vielen Fällen bleibt er erheblich hinter dieser Ziffer zurück. Eine Erhöhung des Kupfergehalts über ein gewisses, ziemlich niedriges Maß (etwa 5 v. H.) hinaus würde nicht allein ebenfalls die Sprödigkeit, sondern auch die Schmelztemperatur erhöhen, also in doppelter Beziehung nachteilig wirken.

Einige Beispiele von erprobten Weißgußlegierungen ohne und mit Bleigehalt können zur besseren Veranschaulichung der Zusammensetzung dienen.

Für die Weißgußlager der Berliner Eisenbahndirektion werden zunächst 2 kg Kupfer geschmolzen,diesem 4 kg Antimon und schließlich 12 kg reines Zinn zugesetzt. Die Legierung wird in 15 mm starke Platten ausgegossen, und von diesen werden 20 kg mit 20 kg Zinn unter möglichst geringer Überhitzung zusammengeschmolzen, um dann

fremden Metallen nicht über ein ziemlich niedriges Maß hinausgehen und nicht jene Ziffern erreichen, wie in den meisten zum Gusse bestimmten Weißmetallen. Gewöhnlich beträgt der Zinngehalt 90—92, der Antimongehalt 8—9, der Kupfergehalt bis 3 v. H. Ein höherer Antimongehalt ist nur zulässig, wenn die Legierung nicht im kalten Zustande, sondern durch Gießen verarbeitet werden soll; sie ist dann in Wirklichkeit nichts anderes als Weißmetall. Blei würde sowohl die Geschmeidigkeit als die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse abmindern und muß deshalb bei gutem Britanniametall vollständig ausgeschlossen bleiben; auch jeder etwaige Zusatz eines anderen Metalls könnte durch Erhöhung der Sprödigkeit nur nachteilig wirken.

Folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse verschiedener über die Zusammensetzung des Britanniametalls angestellter Untersuchungen:

	Zinn	Antimon	Kupfer	Zink	Arsen
Blech aus Birmingham . .	90,62	7,81	1,46	—	—
Desgleichen	90,57	9,40	0,03	—	—
Blech, auf der Drehbank gedrückt	93,70	3,80	2,50	—	—
Sehr sprödes und deshalb unbrauchbares Blech . .	85,6	9,6	0,8	3,0	0,8
Gegossene Löffel	88,4	8,7	2,9	—	—
Desgleichen	81,9	16,2	1,8	—	—

Die Bereitung des Britanniametalls geschieht nach den schon angegebenen allgemeinen Regeln. Man schmelzt das Kupfer mit dem Antimon und auch wohl einem Teile des Zinns zusammen und vereinigt diese Legierung mit dem Reste des Zinns; oder man legiert das Kupfer mit einem Teile des Zinns, z. B. zwei Teile Kupfer mit 1 Teil

Zinn, das Antimon mit dem übrigen Zinn, und vereinigt beide Legierungen in einer besonderen Schmelzung.

Als Weichlote (Weißlote) kommen Bleizinnlegierungen verschiedener Zusammensetzung zur Verwendung, je nachdem das Lot höhere oder weniger hohe Schmelztemperatur besitzen soll.

Zur Bereitung eines besonders leichtflüssigen Lots, des Sickerlots, aus Abfällen von Bleizinnlegierungen benutzt man die Neigung dieser Legierungen zum Seigern. Man schmelzt die Abfälle zusammen, läßt langsam abkühlen und gießt, wenn teilweise Erstarrung eingetreten ist nach dem Durchstoßen der erstarrten Kruste die im Innern befindliche noch flüssige Legierung ab. Die eutektische Legierung enthält, wie früher mitgeteilt, 36 Teile Blei und 64 Teile Zinn und erstarrt bei 181 °. Durch Zusatz einer kleinen Menge Wismut läßt sich die Schmelztemperatur des Lots ferner erniedrigen. (Vergl. auch Seite 61, über leichtflüssige Legierungen.

Einer Erscheinung soll hier noch gedacht werden, für die man früher keine rechte Erklärung hatte und sie daher mit dem etwas abenteuerlichen Namen „Zinnpest“ belegte. Lagern nämlich Zinngegenstände im Winter längere Zeit in ungeheizten Räumen (z. B. Zinnmünzen, Becher usw. in ungeheizten Museumsräumen, Orgelpfeifen in ungeheizten Kirchen usw.), so tritt mitunter ein eigenartiger Zerfall ein. Es bilden sich zunächst kleine rundliche graue Flecken, die allmählich immer weiter umsichgreifen. Beim Berühren mit dem Finger spürt man, das tatsächlich ein Zerfallen des Zinnes eingetreten ist. Das ursprünglich weiße, metallglänzende Zinn ist in ein graues, unscheinbares Pulver umgewandelt. Die Umwandlung schreitet immer weiter und führt schließlich zur völligen Zerstörung

des von der „Zinnpest" befallenen Gegenstandes. Durch die Untersuchungen von Cohen und von Eijk[1]) ist diese Erscheinung aufgeklärt und zugleich ein Mittel zu ihrer Verhinderung gegeben worden. Unser allbekanntes, silberweißes Zinn ist nämlich nur bei Temperaturen oberhalb + 18 bis 20 ° C. beständig (stabil). Bei etwa + 18 ° C. vermag es in eine graue Modefikation (das oben erwähnte graue unscheinbare Pulver) überzugehen, die nicht die geringste Ähnlichkeit mit dem metallischen Zinn hat. Zum Glück neigt diese Umwandlung in sehr hohem Maße zur Unterkühlung. Sie bleibt aus, sofern nicht sehr starke Anreize sie auslösen, z. B. sehr langes Verweilen des Zinns bei niedrigen Temperaturen, Impfen durch bereits umgewandelten Zinn usw. Die Umwandlung kann nicht eintreten, solange die Temperatur nicht wesentlich unter + 18 bis 20 ° C. sinkt.

Museen, in denen wertvolle alte Zinngeräte aufbewahrt werden, sollten schon aus obigem Grunde im Winter immer geheizt werden.

9. Bleilegierungen.

Das reine Blei wird wegen seiner leichten Formgebung in gewöhnlicher Temperatur in umfangreichem Maße zu Wasserleitungsröhren in Hausleitungen, als Schutzröhren für Kabel usw. verwendet. Die biegsamen Röhren lassen sich leicht verlegen, Anschlüsse sich leicht herstellen. Die im vorigen Abschnitt erwähnte Giftigkeit der Bleilösungen hat sich bei Rohranlagen für gewöhnliche Gebrauchswässer (Leitungswasser, Trinkwasser) als ungefährlich erwiesen, da die Röhren sich in kürzester Frist mit einem Schutzüberzug von kohlensaurem Blei

---

[1]) Ztschr. f. physikal. Chemie 1899, 30, 601.

überziehen und dieser die weitere Auflösung von Blei verhindert.

Nicht verwendbar sind jedoch Bleirohrleitungen für destilliertes Wasser, da letzteres ein recht beträchtliches Lösungsvermögen für Blei besitzt und eine Schutzschicht nicht oder nur unvollkommen gebildet wird.

Eine Legierung des Bleies kann nur den Zweck haben. seine sehr geringe Härte zu erhöhen; denn da das Blei ohnehin zu den billigeren Metallen gehört, ist eine Preisermäßigung durch Legierung nicht zu erreichen. Man pflegt deshalb das legierte Blei allgemein Hartblei, zum Unterschiede von dem nichtlegierten Weichblei, zu benennen.

Das üblichste Zusatzmetall ist Antimon, welches, wie schon früher hervorgehoben wurde, die Härte des Bleies bedeutend zu steigern vermag. Die eutektische Antimonbleilegierung enthält 13 v. H. Antimon neben 87 v. H. Blei (Vergl. Abb. 26).

Aus antimonreicheren Legierungen scheiden beim Erstarren harte Antimonkristalle, aus bleireicheren weiche Bleikristalle aus. Legiert man also das Blei zum Zwecke der Erhöhung seiner Härte, so gibt man nicht weniger als 13 v. H. Antimon hinzu, meistens etwas mehr. Mit dem Antimongehalte aber wächst auch die Sprödigkeit; Legierungen mit mehr als 25 v. H. Antimon finden deshalb überhaupt keine Benutzung.

Auf die unangenehme Eigenschaft der Bleiantimonlegierungen, stark zum Seigern zu neigen, ist schon Seite 22 hingewiesen. Man kann dem jedoch durch Beschleunigung der Abkühlung nach dem Guß entgegenwirken (Guß in eiserne Kokillen, Spritzguß usw.).

Wo noch höhere Härtegrade erzielt werden sollen, als sie der erwähnte Antimongehalt zu erteilen vermag, oder wo die Sprödigkeit der Bleiantimonlegierung abgemindert werden soll, fügt man neben dem Antimon Zinn hinzu, und so entstehen Legierungen, welche dem oben besprochenen Weißguß um so ähnlicher werden, je mehr Zinn sie enthalten. Auch Kupfer hat man bisweilen beigefügt; da jedoch Bleikupferlegierungen stark seigern, ist dieser Zusatz weniger häufig als beim Weißmetall in Anwendung gekommen.[1]) Nach Charpy soll in diesen Legierungen der Zinngehalt größer als 10. v. H. sein, aber es ist unnötig über 20 v. H. zu gehen; der Antimongehalt beträgt 10 bis 18 v. H.

Die hauptsächlichste Verwendung findet das Hartblei in zwei Richtungen: erstens als Lagermetall an Stelle des kostspieligeren, aber freilich auch haltbareren Weißgusses mit hohem Zinngehalte; und zweitens als Schriftmetall zum Gusse von Lettern und anderen Schriftzeichen.

Bei der Bereitung der Legierung schmelzt man zunächst einen Teil des Bleies, fügt das Antimon hinzu, dann, wenn beide Metalle sich legiert haben, den Rest des Bleies und schließlich das Zinn; oder man schmelzt das Antimon für sich, vereinigt in einem besonderen Schmelzen das Blei mit dem Zinn und gießt das flüssige Antimon hinzu, nachdem die Zinnbleilegierung auf 500 bis 550 ° C. erhitzt wurde. Soll auch Kupfer in die Legierung geführt werden, so kann man dieses mit dem Antimon zusammenschmelzen und diese Legierung mit der andern vereinigen. Erneutes Einschmelzen oder Zusatz von altem Hartblei soll die Eigenschaften der Legierung verbessern.

---

[1]) Näheres über diese Legierungen: Bulletin de la Société d'Encouragement 1898, S. 696 (Charpy).

Tabelle 15.
Beispiele:

	Blei	Antimon	Zinn	Kupfer
Lagermetall für langsam laufende Wellen	84	16	—	—
Besseres Lagermetall als das vorige	60	20	20	—
Lagermetall für Lokomotiven der französischen Ostbahn[1] . . .	65	25	—	10
Legierung für Stopfbuchsen an Lokomotivzylindern[1]	80	8	12	—
Legierung für Bekleidung der Exzenterbügel u. Verteilungsschieber an Lokomotiven[1]	70	20	—	10
Lagermetall, unter der Bezeichnung Magnoliametall in den Handel gebracht[2]	78	16	6	—
Schriftmetall für Lettern	75	23	2	—
Desgl.; dauerhafter als das vorige	60	25	15	—
oder	55	23	22	—
Schriftmetall zu Stereotypplatten .	82	14,8	3,2	—
Schriftmetall zu Ausschließungen (welche die im Drucke weiß bleibenden Räume auszufüllen bestimmt sind und daher weniger abgenutzt werden)	80	20	—	—

Eine Bleiarsenlegierung mit wenig Arsen wird zur Darstellung des Flintenschrots verwendet. Der Arsenzusatz hat hier ebenfalls den Zweck, die Härte zu steigern, daneben auch die Kügelchenbildung beim Niederfallen der flüssigen Metalltropfen zu befördern.[3]) Die Menge des hinzugesetzten Arsens beträgt nicht mehr als 0,35 v. H., bei feinerem Schrote noch weniger (0,20 v. H.).

---

[1]) Ztschr. d. Vereins dtsch. Ingenieure 1893, S. 1310.
[2]) Metallarbeiter 1890, S. 260.
[3]) Flintenschrot wird dargestellt, indem man das nur wenig überhitzte Metall durch ein Sieb hindurchsickern und die hierbei sich bildenden Tropfen aus solcher Höhe frei niederfallen läßt, daß sie erstarrt auf dem Boden ankommen.

Die Legierung wird dargestellt, indem man in dem geschmolzenen Blei rotes Schwefelarsen auflöst; Arsen wird reduziert und legiert sich mit dem Blei.

10. Zinklegierungen.

Zink ist ein auch im reinen Zustande ziemlich leicht gießbares und mäßig geschmeidiges Metall, welches sich in der Kälte zu Blechen verarbeiten läßt; sein Preis ist niedriger als der der meisten übrigen Metalle und steht nur noch über dem des Bleies und des Eisens.

Aus diesen Gründen pflegt man das Zink häufiger im reinen als im legierten Zustande zu verarbeiten. Eine Preisabminderung läßt sich durch Legierung nicht erreichen, und für die Verarbeitung zu Blechen ist überhaupt nur das reinste Zink benutzbar. Jeder Zusatz eines anderen Körpers würde die ohnehin nicht sehr beträchtliche Geschmeidigkeit des Zinks in einem Grade verringern, daß es unverarbeitbar würde.

Nur dem zu Gußwarenerzeugnissen bestimmten Zink gibt man in einzelnen Fällen wohl einen fremden Zusatz, um seine Eigenschaften zu verändern.

So besitzt das gegossene und im Erstarren begriffene Zink wegen seines hohen Schwindmaßes die Neigung, Sauglöcher zu bilden, welche von der Oberfläche aus nach innen verlaufen, bei der Bearbeitung des Abgusses freigelegt werden und, obschon sie häufig nur sehr klein sind, doch zu unangenehmen Folgen Veranlasung geben können. Wird z. B. ein Gegenstand aus Zinkguß, ein Lampenfuß, eine Büste und dergleichen, um galvanisch mit einem anderen Metalle, Kupfer, Messing, Nickel, überzogen zu werden, in die betreffende Lösung eingehängt, so füllen sich auch jene Sauglöcher oder Poren mit dieser Lösung,

ohne daß diese beim späteren Abspülen und Trocknen vollständig wieder daraus sich entfernen ließe. Es hinterbleiben also Salze, welche Feuchtigkeit aus der Luft anziehen, aus der Öffnung austreten und hier durch Beeinflussung des Metallüberzuges einen gewöhnlich dunkel gefärbten Fleck erzeugen, der das Aussehen des Gegenstandes erheblich benachteiligen kann. Bei größeren Abgüssen bilden sich mitunter infolge desselben Vorganges Senkungen an der Oberfläche, Durch Zusatz kleiner Mengen Zinn (1—5 v. H.) zum Zink soll dieser Übelstand beseitigt oder abgemindert werden können, indem das Schwindmaß des Metalls verringert und dadurch die Erzielung porenfreien Gusses erleichtert wird.

Wenn es sich darum handelt, ein härteres Metall als das reine Zink für Darstellung von Gußstücken zu erhalten, so legiert man es mit kleineren Mengen — 1 bis 10 v. H. — Kupfer, indem man zunächst durch Zusammenschmelzen von Kupfer mit weniger Zink eine kupferreichere Legierung erzeugt und diese dann in dem Reste des Zinks auflöst. Solches kupferhaltiges Zink läßt sich auch mit der Feile besser als reines Zink bearbeiten; die Späne sind nicht so weich wie die des reinen Zinks und springen leichter von den Zähnen der Feile ab, ohne diese zu „verschmieren".

Am häufigsten finden Zinklegierungen als Lagermetalle Verwendung, und man gibt ihnen hierbei ebenfalls den Namen Weißguß (wie den für Lager benutzten Zinnlegierungen). Man rühmt ihnen nach, daß sie geringe Zapfenreibung verursachen, dabei sind sie billiger als das eigentliche zinnreiche Weißmetall und haltbarer als Hartblei. Man legiert das Zink zu diesem Zwecke gewöhnlich mit Zinn und kleineren Mengen Kupfer; zur Erhöhung des

Härtegrades gibt man nicht selten einen mäßigen Antimongehalt, und mitunter fügt man eine gewisse Menge von Blei hinzu. Da Zink und Blei sich nicht oder nur sehr unvollständig legieren (Seite 12), kann dieser Zusatz auffällig und zwecklos erscheinen; man behauptet indes, daß gerade jener Umstand ein günstiges Verhalten des Lagers, welches nunmehr nicht aus einer gleichartigen Masse, sondern aus verschiedenen Körpern neben einander bestände, eine Abminderung der Reibungswiderstände bedinge, wie ja auch die beim Erstarren des aus Zinn, Antimon und Kupfer bestehenden Weißmetalls eintretende Kristallausscheidung als günstig für die Benutzung zu Zapfenlagern gehalten wird (Seite 189).

Die Vorschriften für die Zusammensetzung des Zinklagermetalls sind ziemlich zahlreich. Besonders häufig sind diese Legierungen in England zur Anwendung gekommen, und die meisten der nachstehend aufgeführten Beispiele sind englischen Vorschriften entnommen.

	Zink	Zinn	Kupfer	Antimon
Sogenanntes Antifriktionsmetall . .	85	—	5	10
Anderes englisches Lagermetall . .	80	14,5	5,5	—
Lagermetall für rasch umlaufende Wellen (an Holzhobelmaschinen, Zentrifugalgebläsen u. dergl. . .	77	17,5	5,6	—
Englisches Lagermetall für große Belastungen	76,1	18,5	5,5	—
Lagermetall von Dunlevie und Jones	52	46	1,6	0,4

Die Bereitung der letzteren Legierung soll folgendermaßen bewirkt werden. In einem Tiegel wird das gesamte Kupfer geschmolzen, dann $^1/_7$ des gesamten Zinns und das Antimon hinzugefügt, worauf man das Ganze in eine Zinnform ausgießt. In einem zweiten Tiegel vereinigt man das

gesamte Zink mit dem Reste des Zinns, setzt dann die zuerst gebildete Legierung hinzu und erhitzt nochmals[1]).

Vorschriften für bleihaltige Lagermetalle sind folgende:

	Zink	Zinn	Kupfer	Antmon	Blei
Pierrots Lagermetall . . .	83,3	7,6	2,3	3,8	3,0
Knieß Lagermetall[2]) . . .	40	15	3	—	42
Lagermetall für Transportwagen Kippwagen u. dergl.	50	25	—	—	25

11. Aluminium- und Magnesiumlegierungen.

Die Hauptverwendung des Aluminiums liegt auf solchen Gebieten, wo sein geringes spezifisches Gewicht und seine Widerstandsfähigkeit gegen Atmosphärilien von Nutzen sind. Wasser und wässerige Salzlösungen greifen Aluminium unter Bildung einer weißlichen Oxydhaut an, wodurch das Metall unscheinbar wird. Von wesentlichem Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit des Aluminiums gegenüber der zersetzenden Einwirkung von Wasser usw. ist der Zustand der Vorbehandlung.

Ausgeglühtes (weiches) Aluminium wird von Wasser bei Zimmerwärme nur unbedeutend und gleichmäßig über die ganze benetzte Fläche angegriffen. Kaltgewalztes, (hartes) Aluminium erleidet örtlichen Angriff unter Bildung von Aufbeulungen und Abblätterungen. Vermutlich spielen hierbei auch die durch die Kaltbearbeitung hervorgebrachten Reckspannungen (Siehe auch Seite 149) im Metall eine Rolle[3]).

---

[1]) Dinglers Polyt. Journal Band 177, S. 326.

[2]) Der sehr hohe Bleigehalt dieser Legierung kann Bedenken gegen ihre Brauchbarkeit erwecken.

[3]) Vergl. E. Heyn und O. Bauer „Zersetzungserscheinungen an Aluminium und Aluminiumgeräten", Mitt. a. d. Kgl. Materialprüfungsamt 1911, Heft 1, S. 1.

Handelt es sich bei Herstellung von Gebrauchsgegenständen nur darum, bestimmte Abmessungen, nicht ein bestimmtes Gewicht inne zu halten, was häufig der Fall ist, so kann die Verwendung von Aluminium billiger sein als die Verwendung eines anderen Metalles, dessen Gewichtspreis zwar niedriger, dessen spezifisches Gewicht aber höher ist. Mancherlei Haus- und Küchengeräte, Verzierungen, billige Schmucksachen werden aus Aluminium gefertigt.

Der Vorteil des geringen Gewichts verringert sich, wenn das Aluminium mit einem anderen, weniger leichten Metalle legiert wird; die Härte und Festigkeit des reinen Metalls lassen sich durch die Legierung zwar steigern, aber die Verarbeitungsfähigkeit wird in starkem Maße dadurch verringert. Daraus erklärt sich, daß Aluminiumlegierungen, in welchen das Aluminium das Hauptmetall bildet, bisher nur ausnahmsweise dargestellt und verwendet worden. Legierungen mit kleinen Mengen Silber und Kupfer sind vereinzelt für Schmuck und dergl. benutzt worden, ohne irgend eine Bedeutung erlangt zu haben. Der Verwendung des Aluminiums als Zusatzmetall zum Kupfer (Aluminiumbronze) und Messing ist schon oben gedacht worden.

Seit einigen Jahren ist eine neue Aluminiumlegierung in den Handel gekommen, die sich durch einige bemerkenswerte Eigenschaften auszeichnet. Sie hat den Namen Duralumin erhalten[1]). Die verschiedenen Legierungen des Duralumins enthalten außer Aluminium, einen je nach dem Verwendungszweck schwankenden Gehalt von ungefähr:

---

[1]) **Fabrikationsrecht für Deutschland besitzen die Dürener Me-ke A.-G., Düren i. Rh.**

Magnesium . . .	0,5 %
Kupfer	3,5 bis 5,5 %
Mangan	0,5 „ 0,8 %

Das spezifische Gewicht schwankt je nach Legierung und Härte zwischen 2,75 und 2,84, der Schmelzpunkt liegt bei etwa 650° C[1]).

Ähnlich wie man die Festigkeit und Härte von Stahl durch einen Glüh- und Abschreckprozeß steigert, kann man auch Duralumin härten. Die Härtetemperatur richtet sich je nach Zusammensetzung und Verwendungszweck der Legierung, sie liegt im allgemeinen etwa zwischen 400 und 500° C. Die Steigerung der Festigkeit und Härte ist eine sehr beträchtliche, gleichzeitig bewirkt der Härteprozeß auch eine Steigerung der Dehnung. So zeigte z. B. ein geglühter (weicher) Draht eine Festigkeit von etwa 26 kg/qmm bei 17 % Dehnung, die Härtezahl (Brinell) war 70. Nach dem Härten war die Festigkeit auf 41 kg/qmm, die Dehnung auf 23 % und die Härte auf 110° gestiegen.

Durch nachträgliches Anlassen (günstigste Anlaßtemperatur etwa 100 bis 150° C) kann man, genau wie beim gehärteten Stahl, dem fertigen Gegenstand eine größere Zähigkeit jedoch auf Kosten der Härte und Festigkeit verleihen. Eigentümlich ist noch folgende Eigenschaft des Duralumins. Während beim Härten von Stahl die Härtesteigerung sofort nach erfolgtem Abschrecken erreicht ist, zeigt gehärtetes Duralumin direkt nach der Härtung noch gar keinen Effekt derselben. Erst nach etwa einer Stunde stellt sich eine meßbare Steigerung der Festigkeit und Härte ein, die dann schnell zunimmt, nach etwa 48 Stun-

---

1) Die Angaben über Duralumin sind der Arbeit „Technische Mitteilungen über Duralumin“ von Leo Michael Cohn entnommen. Verhandl. d. Vereins z. Beförderung d. Gewerbefleißes 1910, S. 643, ferner: „Elektrotechnik und Maschinenbau“, Heft 39 u. 40, 1911.

den ist der Höchstwert erreicht. Für die Weiterverarbeitung ist diese Eigenschaft nicht unerwünscht. Witterungseinflüssen gegenüber ist Duralumin sehr beständig, auch gegen Feuchtigkeit, Wasser, Seewasser. Schwefelsäure, Salpetersäure und deren Dämpfe soll es in hohem Maße widerstandsfähig sein. Leicht wird es dagegen, wie alle Aluminiumlegierungen von Salzsäure und Lauge angegriffen. Hervorzuheben wäre noch die hohe Politurfähigkeit.

Das metallische Magnesium hat seiner leichten Zersetzbarkeit wegen im Legierungsgewerbe bisher nur sehr geringe Verwendung gefunden. Eine in neuerer Zeit hergestellte Legierung des Magnesiums mit Aluminium Magnalium[1]) genannt, zeichnet sich in erster Linie durch ihr geringes spezifisches Gewicht aus.

Bei der Legierung mit Aluminium tritt zwar Verdichtung ein, aber immerhin sind Legierungen mit 6 v. H. Magnesium nicht schwerer, mit einem höheren Magnesiumgehalte leichter als Aluminium. Legierungen mit 3 bis 10 v. H. Magnesium haben die doppelte bis 2½fache Festigkeit des reinen Aluminiums; ein höherer Magnesiumgehalt verringert die Festigkeit. Die Sprödigkeit wächst ziemlich rasch mit dem Magnesiumgehalte, und mit mehr als 20 v. H. Magnesium sind die Legierungen wegen großer Sprödigkeit unbenutzbar, während sie mit 3 bis 4 v. H. Magnesium noch auf Grund ihrer Geschmeidigkeit verarbeitbar sind. Man benutzt sie für gleiche Zwecke wie reines Aluminium, sofern ihre größere Festigkeit und Härte von Belang ist.

---

[1]) Näheres siehe Dr. Miethe: Ueber die Herstellung und Eigenschaften von Magnalium. Sitzungsber. d. Ver. f. Beförd. d. Gewerbefl. 1900, S. 93. Diegel: Magnalium. Verh. d. Ver. f. Beförd. d. Gewerbefl. 1901, S. 277.

Ob das Magnesium in Legierung mit Aluminium erheblich widerstandsfähiger gegen Atmosphärilien ist als das reine Magnesium, muß noch die Zukunft lehren.

Magnesium-Kupferlegierungen, auf die man früher große Hoffnungen gesetzt hatte, haben sich nicht bewährt. Läßt man Magnesium-Kupferlegierungen längere Zeit lagern, so tritt ein allmählicher Zerfall der Legierung ein, anscheinend handelt es sich auch hier um eine allmählich immer weiter schreitende Oxydation des Magnesiums. Feuchtigkeit beschleunigt in hohem Maße den Zerfall.

12. Quecksilberlegierungen (Amalgame).

Quecksilber legiert sich ziemlich leicht mit vielen Metallen, und die entstehenden Legierungen besitzen in gewöhnlicher Temperatur teils flüssige, teils teigartige, teils feste Form. Flüssige Quecksilberlegierungen dienen mitunter als Zwischenerzeugnisse zur Abscheidung von Edelmetallen aus ihren Erzen. Durch Behandlung des Erzes mit Quecksilber zieht man das Metall aus, durch mechanische Behandlung trennt man die flüssige Legierung von dem Erze, und durch Erhitzung wird dann das Quecksilber verflüchtigt, wobei das Edelmetall zurückbleibt.

Manche Amalgame besitzen nur ein sehr kleines Erstarrungsintervall. Oberhalb einer gewissen Temperatur, die oft nur wenige Grad über gewöhnliche Zimmerwärme liegt, ist das Amalgame noch flüssig, unterhalb oder bei Zimmerwärme bereits vollständig erstarrt. Man macht hiervon mitunter Anwendung zur Herstellung von Überzügen, zum Ausfüllen von Öffnungen (Plombieren der Zähne) und dergleichen mehr.

Das zum Belegen der Spiegel benutzte Amalgam enthält ungefähr 23 Teile Zinn und 77 Teile Quecksilber. Es wird bereitet, indem man Zinnfolie auf einer wagerechten Fläche (dem Belegsteine) ausbreitet, etwas Quecksilber darüber gießt und mit einem Stückchen Tuche anreibt, dann soviel Quecksilber darauf bringt, daß es einige Millimeter hoch auf dem Zinn steht, die Glasplatte unter gewissen Kunstgriffen von der Seite her darüber schiebt, so daß sie auf dem Quecksilber ruht, worauf das überschüssige Quecksilber durch Belastung der Platte herausgedrückt wird. Die Platte muß längere Zeit in wagerechter Lage, mit dem Belag nach unten, verharren; alsdann wird sie gewendet und allmählich in fast senkrechte Lage gebracht, in welcher sie ruhig mehrere Wochen stehen muß.

Das Reibzeug der Elektrisiermaschinen besteht aus einem Zinn-Zink-Amalgame, welches ungefähr 50 Teile Quecksilber, 25 Teile Zinn und 25 Teile Zink zu enthalten pflegt.

Als Zahnkitte werden verschiedene Amalgame benutzt. So z. B. ein Kadmiumamalgam, durch Auflösen von Kadmium in erwärmtem Quecksilber bis zur Sättigung bereitet. Es ist im frischen Zustande knetbar und erhärtet allmählig. Auch ein Zinn-Kadmium-Amalgam dient dem gleichen Zwecke. Man stellt es dar durch Auflösen von zwei Teilen Zinn und einem Teil Kadmium in überschüssigem Quecksilber und Auspressen des letzteren vermittelst eines Leders. Ein Kupferamalgam, ebenfalls als Plombierungsmittel von Zahnärzten benutzt, wird durch Behandeln von Kupferpulver mit einigen Tropfen Quecksilbernitratlösung und dann Kneten mit Quecksilber unter warmem Wasser bereitet, es entsteht ein Kupferamalgam

mit ungefähr 30 Hundertteilen Kupfer; reibt man dieses bei 100° C. im Mörser, so wird es sehr knetbar, erhärtet aber bei Abkühlung auf Mundwärme vollständig.

Ein Amalgam aus hundert Teilen Quecksilber, 175 Teilen Zinn, 310 Teilen Blei, 500 Teilen Wismut, schmilzt bei 70,5° C. und wird zum Ausspritzen anatomischer Präparate benutzt[1]).

---

[1]) Centralztg. f. Optik u. Mechanik 1889, S. 129.

ROSENTHAL & Co., BERLIN S O., RUNGESTR. 20.

Sach-Verzeichnis.

